



Miguel Pereira
Martins Castanheira

Infraestruturas de comunicação e bases de dados
para smart grids



**Miguel Pereira
Martins Castanheira**

**Infraestruturas de comunicação e bases de dados
para smart grids**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica do Doutor José Paulo Oliveira Santos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e do Doutor Joaquim José Borges Gouveia, Professor Catedrático do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro.

O júri / The jury

Presidente / President

Prof. Doutor António Gil D'Orey de Andrade Campos

Professor Auxiliar Convidado da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

Prof. Doutor José Paulo Oliveira Santos

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador)

Prof. Doutor Joaquim José Borges Gouveia

Professor Catedrático da Universidade de Aveiro (coorientador)

Prof. Doutor João José da Cunha e Silva Pinto Ferreira

Professor Associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)

Agradecimentos / Acknowledgements

Agradeço aos meus pais, namorada e família que sempre me apoiaram e proporcionaram as condições necessárias à minha progressão.

Aos meus amigos o meu muito obrigado, pela amizade e companheirismo demonstrados durante todos estes anos.

Agradeço aos meus orientadores, Professor José Paulo Santos e Professor Joaquim Borges Gouveia, pelo apoio e ajuda para levar este trabalho a bom termo.

Agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

A todos muito obrigado!

Palavras-chave

redes; energia; inteligência; neuronais; consumo; produção; MySQL; Modbus; TCP; IP; Serviços Web; algoritmos; genético.

Resumo

Na presente dissertação é proposto o desenvolvimento de um software de apoio à decisão que faça monitorização de consumos e produções de energia, que determine a tarifa mais indicada para o consumidor, bem como o horário mais oportuno para consumir. Além destas vertentes este sistema permite também a negociação de pacotes de energia entre consumidores, nomeadamente no que concerne à venda, compra, pedido e doação de energia. Os contratos de fornecimento de energia subscritos pelos consumidores têm necessariamente uma potência e tarifa contratada associadas, inteiramente relacionadas com as características do sistema para o qual se destina o contrato. Em muitos casos, as potências contratadas estão desajustadas à real necessidade dos clientes, acarretando custos inerentes. Por outro lado, mesmo que estas não sejam, a priori, desnecessariamente elevadas, uma gestão correta dos consumos permite a redução de picos energéticos possibilitando a alteração para uma potência contratada mais baixa. Uma abordagem similar pode ser feita à tarifa contratada pois qualquer consumidor tem os seus gastos quotidianos e, muitos deles, uma vez tendo uma tarifa contratada não mais se preocupam em conferir se é de facto a mais ajustada. Qualquer displicência ou falta de conhecimento, no final das contas, custa dinheiro. Cabe ao consumidor a tarefa de avaliar e optar pela combinação mais vantajosa. Na ótica dos distribuidores a questão central está na redução dos picos de consumo, em evitar o sobredimensionamento da rede, em evitar possíveis falhas e em aumentar a fiabilidade do fornecimento. Neste sentido foi proposto um sistema que resolvesse estas situações. Foi desenvolvido um módulo com o intuito de estabelecer a comunicação com medidores de energia por Modbus/TCP e efetuar a recolha de alguns parâmetros da rede elétrica. O sistema possui uma base de dados criada em MySQL, onde são guardados todos os parâmetros recolhidos pelos medidores, os dados relativos aos consumidores, fornecedores, tarifas e potências disponibilizadas pelos distribuidores. Foi desenvolvido outro módulo para determinar a tarifa e a potência contratadas mais ajustadas ao consumidor. Este módulo usa os dados disponíveis na base de dados para calcular a tarifa e potência que acarretam menores custos para o consumidor. Com a utilização de redes neuronais e algoritmos genéticos foi possível criado ainda outro módulo capaz de agendar os consumos. Este agendamento é elaborado tendo por base estimativas de produção de energia para o dia seguinte, de modo a maximizar os consumos quando os recursos estão disponíveis. Neste trabalho as previsões de produção são direcionadas para a produção de energia fotovoltaica. Estas estimativas de produção são adquiridas pela comparação de previsões meteorológicas, recolhidas a partir de serviços *web*, com dados de produção registados na base de dados. Estes módulos desenvolvidos são o núcleo do software de apoio à decisão.

Keywords

smart grids; energy; networks; neural; consumption; production; generation; MySQL; Modbus; TCP; IP; Web Services; algorithms; genetic.

Abstract

In this thesis was proposed the development of a software for decision support capable to supervise consumption and production of energy, to determine the most suitable tariff to the consumer and the most opportune time to consume. Beyond these the system negotiate energy packages between consumers, as sell, purchase, request and donate energy. The contracts of energy subscribed from consumers have necessarily a power and tariff associated, that is depend of the features installed in the system. In many cases, the contracted powers are inadequate to the real need of the customers, leading to inherent cost. A better management of the consumptions can reduce peak demands enabling to change to the contracted power lower. A similar approach can be done with the contracted tariff because any consumer have in their everyday expenses, and many of them once they have a contracted tariff, will never check if it is indeed the most suitable one. Any carelessness or lack of knowledge means to spend more money. On the point of view of distributor, the main problem is to reduce the peak demand to avoid the overload of the grid, to prevent possible failures and so increase reability of supply of energy. In this sense was proposed a system to solve this questions. For the proposed system was developed a module aiming to establish connection with energy meters through Modbus/TCP and get some energy values. The system have a database made in MySQL, where the energy values from energy meters are saved, as well as the data of consumers, distributors, tariffs and contracted powers available by distributors. It was developed another module to determine the contracted tariff and power most suitable to consumer. This module use available data in database to determine the tariff and power that is cheaper. With neural networks and genetic algorithms was possible to create another module to schedule the consumptions. This schedule is based in forecast production from next days, maximizing the consumptions when resources are available. In this work the forecast of production are directed to solar production. This kind of production are acquired by comparing meteorological forecasts, collected from web services, with production data saved into database. This developed modules are the core of software for decision support.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Contexto	1
1.2	Relevância do tema	1
1.3	A situação atual	2
1.4	O problema	3
1.5	Solução proposta	3
1.6	Estrutura da Dissertação	4
2	Revisão do Estado da Arte	5
2.1	<i>Smart grids</i>	5
2.1.1	Na Europa	6
2.1.2	Arquitetura <i>smart grid</i>	7
2.2	Enquadramento energético em Portugal	10
2.3	Plano de Promoção da Eficiência no Consumo	14
2.4	Micro/Miniprodução em Portugal	15
2.4.1	Microprodução	15
2.4.2	Miniprodução	17
2.4.3	Liberalização de mercados	17
2.5	Desenvolvimentos em <i>smart grids</i>	18
3	Tecnologias de Suporte	25
3.1	Infraestruturas de suporte de rede	25
3.1.1	Tecnologias com fios	25
3.1.2	Tecnologias sem fios	27
3.1.3	Tecnologias móveis	27
3.1.4	Comparação de tecnologias	30
3.2	Algoritmos genéticos	32
3.2.1	Função de aptidão	33
3.2.2	Seleção	33
3.2.3	Cruzamento	34
3.2.4	Mutação	34
3.2.5	Critérios de paragem	35
3.3	Redes neuronais artificiais	35
3.3.1	Arquiteturas RNAs	37
3.3.2	<i>Perceptrons</i> de múltiplas camadas	38
3.3.3	Escolha da topologia para a rede	40
3.3.4	Modelos de aprendizagem	40

4	Conceção	43
4.1	Arquitetura do sistema	43
4.2	Arquitetura do software proposto	45
5	Implementação	47
5.1	Descrição da proposta	47
5.2	Base de dados	49
5.3	<i>Clean Energy Meter</i>	52
5.4	Aquisição de dados	54
5.5	Monitorização	57
5.6	Análise de custos	60
5.7	Planeamento de consumos	61
5.8	Negociação de pacotes de energia	67
6	Considerações finais	71
6.1	Conclusões	71
6.2	Futuros desenvolvimentos	72
6	Bibliografia	77
	Apêndice A Medidas do PPEC 2011-2012	79

Lista de Tabelas

2.1	Fator percentual aplicado à tarifa	16
2.2	Período transitório para a extinção das tarifas reguladas.	18
3.1	Velocidades de xDSL vs alcances	26
3.2	Características de redes óticas passivas	26
3.3	Normas atuais de Wi-Fi	30
3.4	Resumo das tecnologias de suporte de rede	31
5.1	Exemplos da entidade “users”.	50
5.2	Exemplo da tabela “devices”.	51
A.1	Medidas intangíveis aprovadas	79
A.2	Medidas tangíveis aprovadas no segmento indústria e agricultura	80
A.3	Medidas tangíveis aprovadas no segmento comércio e serviços	80
A.4	Medidas tangíveis aprovadas no segmento residencial	81
A.5	Medidas intangíveis para promotores fora do sector elétrico	81
A.6	Medidas tangíveis para promotores fora do sector elétrico	81

Lista de Figuras

2.1	Visão global do investimento e implementação de <i>smart grids</i> na UE	7
2.2	Ilustração de um modelo de <i>smart grid</i>	8
2.3	Evolução da dependência energética em Portugal	11
2.4	Importação, exportação e consumo energético em Portugal	11
2.5	Consumo de energia final por tipo de setor consumidor	12
2.6	Consumo de energia elétrica por tipo de setor consumidor	13
2.7	Produção de eletricidade e de energias renováveis	13
2.8	Tipologia das medidas aprovadas no PPEC 2011-2012	15
2.9	Gráfico de consumo diário e projeção de consumo mensal no SISGEN . . .	20
2.10	Monitor LCD de energia para a residência	20
2.11	Portal da internet disponibilizado pela SunPower	21
2.12	Aplicação de monitorização para iOS e Android	21
2.13	Fluksometer, dispositivo de medição e monitorização energética	22
2.14	Esquema de instalação do serviço “ <i>Energy</i> ”	23
2.15	Energy Box - equipamento de contagem usado na InovCity	23
3.1	Método de seleção por roleta	33
3.2	Cruzamento de ponto único.	34
3.3	Operador de mutação de ponto único.	34
3.4	Modelo de neurónio artificial.	36
3.5	Representação gráfica de funções de ativação tipicamente utilizadas. . . .	37
3.6	Esquema de arquiteturas de redes tipicamente utilizadas.	39
4.1	Arquitetura de ligação entre entidades.	43
4.2	Esquema de ligações para transferência de dados.	44
4.3	Esquema da arquitetura do software.	45
5.1	Esquema do sistema proposto.	48
5.2	DEA da base de dados para o sistema proposto.	50
5.3	DEA para negociação de pacotes de energia.	52
5.4	Janela inicial de <i>login</i> do CEM.	52
5.5	Ecrã principal do CEM para um consumidor/produtor.	53
5.6	Ecrã de configurações do utilizador.	55
5.7	Medidor de energia e estrutura de mensagem para aquisição de dados. . .	56
5.8	Aplicação em VB para estabelecer comunicação com medidor	58
5.9	Ecrã de monitorização do CEM, <i>dash</i>	59
5.10	Ecrã para análise de custos.	60
5.11	Exemplo de limites horários	61

5.12	Estrutura MLP para organizar as tarefas	63
5.13	Aplicação em VB para planeamento de consumos.	66
5.14	Ecrã do módulo de planeamento de consumos.	67
5.15	Ecrã para negociação de pacotes de energia.	69

Glossário

1G Primeira geração de redes móveis.

2G Segunda geração de redes móveis.

3G Terceira geração de redes móveis.

4G Quarta geração de redes móveis.

ADSL *Asymmetric Digital Subscriber Line.*

AG Algoritmo Genético.

AMI *Automatic Metering Infrastructure.*

AMR *Automated Meter Reading.*

ANACOM Autoridade Nacional de Comunicações.

ANN *Artificial Neural Network.*

AP *Access Point.*

APREN Associação Portuguesa de Energias Renováveis.

ASECE Apoio Social Extraordinário ao Consumidor de Energia.

ATM *Asynchronous Transfer Mode.*

ATM-PON *Asynchronous Transfer Mode - Passive Optical Networks.*

BPON *Broadband Passive Optical Networks.*

CEM *Clean Energy Meter.*

CERTIEL Associação Certificadora de Instalações Eléctricas.

DEA Diagrama de Entidade-Associação.

DEM Departamento de Engenharia Mecânica.

DER *Distributed Energy Resource.*

DGEG Direção-Geral de Energia e Geologia.

DMS *Distribution Management System.*

DOCSIS *Data Over Cable Service Interface Specifications.*

DSL *Digital Subscriber Line.*

EAP *Extensible Authentication Protocol.*

EDP *Energias de Portugal.*

EMS *Energy Management System.*

ENE *Estratégia Nacional para a Energia.*

ENE 2020 *Estratégia Nacional para a Energia 2020.*

EPON *Ethernet Passive Optical Networks.*

ERSE *Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.*

ESI *Energy Services Interface.*

FAN *Field Area Network.*

GEE *Gases de Efeito de Estufa.*

GPON *Gigabit Passive Optical Networks.*

GPRS *General Packet Ratio Service.*

GSM *Global System for Mobile communications.*

HAN *Home Area Network.*

HDSL *High bit rate Digital Subscriber Line.*

HSPA *High Speed Packet Access.*

IEEE *Institute of Electrical and Electronic Engineers.*

IHD *In-Home Display.*

INE *Instituto Nacional de Estatística, I.P..*

IP *Internet Protocol.*

ISO *Independent System Operator.*

ITU *Internacional Telecommunications Union.*

ITU-TS *Internacional Telecommunications Union - Telecommunication Standardization Sector.*

LAN *Local Area Network.*

LCD *Liquid Crystal Display.*

LED *Light-Emitting Diode.*

LMS *Least Mean Square.*

LSM Laboratório de Sistemas Remotos.

LTE *Long Term Evolution.*

MDMS *Meter Data Management System.*

MIBEL Mercado Ibérico de Electricidade.

MIMO *Multiple-Input, Multiple-Output.*

MMS *Multimedia Messaging Service.*

MPL *Multi-Layer Perceptron.*

OLAP *On Line Analytical Process.*

OLTP *On Line Transaction Process.*

ONU Organização das Nações Unidas.

PAN *Personal Area Network.*

PDA *Personal Digital Assistant.*

PEV *Plug-in Electric Vehicle.*

PLC *Power Line Communications.*

PME Pequena e Média Empresa.

PNAC Programa Nacional para as Alterações Climáticas.

PNAEE Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética.

PON *Passive Optical Networks.*

PORDATA Base de Dados Portugal Contemporâneo.

PPEC Plano de Promoção da Eficiência no Consumo.

PQ Protocolo de Quioto.

REN Redes Energéticas Nacionais.

RESP Rede Eléctrica de Serviço público.

RNA Rede Neuronal Artificial.

RSSI *Received Signal Strength Indication.*

RTO *Regional Transmission Operator.*

SAGUE Sistema de Apoio à Gestão de Utilidades e Energia.

SCADA *Supervisory Control And Data Acquisition.*

SDSL *Single-pair Digital Subscriber Line.*

SISGEN Sistema de Gerenciamento de Energia Elétrica.

SMS *Short Message Service.*

SOAP Simple Object Access Protocol.

SRM Sistema de Registo de Microprodução.

TCP *Transmission Control Protocol.*

tep tonelada equivalente de petróleo.

TIC Tecnologias da Informação e Comunicação.

UE União Europeia.

UWB *Ultra Wide Band.*

VB *Visual Basic.*

VDSL *Very High bit rate Digital Subscriber Line.*

VEV Variadores Eletrónicos de Velocidade.

WAN *Wide Area Network.*

WAP *Wireless Application Protocol.*

WEP *Wired Equivalent Privacy.*

Wi-Fi *Wireless Fidelity.*

WiMAX *WorldWide Interoperability Microwave Access.*

WPA *Wi-Fi Protect Access.*

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contexto

O mundo energético atual está em constante mudança e o papel do consumidor final é bem diferente que era há alguns anos. Este começa a assumir maior preponderância no sistema energético vigente, adotando um comportamento mais ativo. A sua importância na produção de energia, provinda de recursos renováveis, é crescente. Os desenvolvimentos tecnológicos têm evoluído no sentido de incrementar a eficiência dos atuais equipamentos produtores de eletricidade, bem como, dos aparelhos consumidores.

As *smart grids* ou redes inteligentes são conhecidas como uma evolução da rede elétrica, com comunicação de dados bidirecional entre o fornecedor e o consumidor, com medição e monitorização inteligente, na qual se pode mostrar o comportamento de todos os utilizadores ligados na rede (ENISA, 2012). As redes inteligentes podem ser descritas como a interação de três vertentes: energia elétrica (transmissão e distribuição), telecomunicações (controlo e segurança) e tecnologia de informação (aplicações e serviços). Assim, as *smart grids* não são uma tecnologia, mas um leque alargado de tecnologias que combinam o aumento de eficiência e segurança na transmissão, produção e consumo de energia elétrica (FLICK/MOREHOUSE, 2010; LANKTON, 2010). De modo simplista pode pensar-se em *smart grid* como a adição de inteligência à atual rede elétrica.

A conjuntura da sociedade atual não conseguiria manter os respetivos níveis de vida e muito menos evoluir sem energia. É inegável que a energia elétrica se tornou num bem essencial. Será, no entanto, um exagero compará-la com a importância da água, visto que esta implica questões de pura sobrevivência, mas não é excessivo afirmar que sem energia elétrica o mundo contemporâneo se tornaria num caos (DE CASTRO, 2010).

1.2 Relevância do tema

O consumo de energia elétrica assume um papel muito relevante dado que a maioria dos equipamentos utilizados nas habitações e indústria requerem este tipo de fonte de energia. O consumo de eletricidade em Portugal Continental passou de 31,6 GWh em 1997 para 48 GWh em 2007, um aumento de 51,9% correspondentes a 16,4 GWh (PINTO, 2008). O aumento do consumo de eletricidade está em parte associado ao aumento do conforto térmico e ao crescimento do número de equipamentos elétricos disponíveis nas residências. No inquérito ao consumo de energia no sector doméstico realizado pelo Instituto

Nacional de Estatística, I.P. (INE) em 2010, consta que o consumo total de eletricidade nas habitações foi de 1 242 021 tep (tonelada equivalente de petróleo) (equivalente a 14 442 GWh) (INE, 2010).

Segundo dados da REN (Redes Energéticas Nacionais), em 2011 consumiram-se 50 511 GWh de eletricidade em Portugal, contra um pico de 52 198 GWh em 2010, o que equivale a uma queda de 3,2% (GARCIA, 2012). No decorrer do presente ano, a REN disponibilizou o consumo de eletricidade até ao mês de Setembro, registando 36 699 GWh, mantendo assim a tendência registada em 2011 (LUSA/SOL, 2012).

O balanço elaborado pela Associação Portuguesa de Energias Renováveis (APREN), relativo ao ano de 2011, afirma que a eletricidade de origem renovável foi responsável por 46,8% do total do consumo elétrico em Portugal Continental. A APREN destaca que a produção de eletricidade desta origem evitou o equivalente à emissão de 8 milhões de toneladas de CO_2 e permitiu poupar 721 milhões de euros na importação de combustíveis fósseis (APREN, 2012). Dados disponibilizados pelo Sistema de Registo de Microprodução (SRM) indicam que este contém mais de 19 500 registos em unidades de microprodução, o equivalente a uma potência de ligação superior a 71 MW (SRM, 2012).

Infelizmente, apenas desligar os aparelhos não elimina completamente o consumo de energia. Na grande maioria dos dispositivos eletrónicos, mesmo quando estão desligados ou em modo *standby*, estão em carga, ou seja, a ser alimentados. A energia utilizada por estes equipamentos, enquanto estão desligados ou em modo de espera, é comodamente referida como *vampire energy waste*, consumos em *standby* ou consumo fantasma (FLICK/MOREHOUSE, 2010). A quantidade de energia consumida por estes aparelhos em *standby* é significativamente baixa, comparando quando estão em funcionamento. Contudo, em média, cada casa americana tem 40 equipamentos que estão constantemente a consumir energia (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY, 2010). Considerando que existem milhões de habitações na América, bilhões de watts de energia são desperdiçados mesmo quando os equipamentos não estão a ser usados. É estimado que cerca 11% da eletricidade usada no sector residencial é *vampire energy waste* (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY, 2010), que equivale aos americanos gastarem cerca de 4 bilhões de dólares em energia desaproveitada por ano (FLICK/MOREHOUSE, 2010; RAPHAEL JR. PC WORLD, 2008). Um estudo europeu liderado pela Universidade de Coimbra divulgou que se desperdiça na UE cerca de 10 mil milhões de euros ano desta forma. Esta investigação refere que em média cada habitação gasta entre 50 a 100 euros por ano por não desligar devidamente os equipamentos ou os deixar em *standby*. Estes resultados equivalem a 80 TWh, o dobro do consumo total de Portugal nesse ano. Relativamente às emissões de gases nocivos para a atmosfera, estes números correspondem a cerca de 36 milhões de $tonCO_2$, considerando uma média de 450 gCO_2 libertados por cada 1 kWh de energia produzida (SELINA, 2009). É necessário tomar consciência e ter controlo sobre os consumos feitos no quotidiano e que inevitavelmente crescem na fatura mensal.

1.3 A situação atual

Muitos consumidores atualmente pagam uma taxa fixa para a eletricidade. O preço é definido por quilowatt-hora e a sua fatura é calculada usando uma taxa estipulada para cada kWh consumido. Há duas estratégias para lidar com o aumento de procura. A

primeira opção passa por construir mais centrais de produção para gerar mais energia com o intuito de atender à procura durante esses picos. Esta escolha é mais dispendiosa e cria um desperdício significativo durante as horas de pouca procura. Prever a quantidade de energia e o exato momento que será pedida é quase impossível. Como resultado, as centrais costumam gerar maior quantidade de energia do que a procura existente. Então, quando há menos procura, o excesso de energia é, atualmente, desperdiçado. Armazenar esse excesso de energia para uso subsequente está a ser estudado e pode desempenhar um grande papel no futuro das *smart grid*. A segunda alternativa passa por reduzir o consumo durante os picos de maior procura. Um método a usar é convencer os consumidores a realizarem as operações intensivas de energia, tais como colocar em funcionamento a máquina de secar roupa ou lavar louça, durante as horas de menor procura energética. Por outro lado, os distribuidores de energia têm interesse em reduzir os picos elevados desta, evitar o congestionamento da rede e possíveis falhas (*blackout*), aumentando a fiabilidade do fornecimento.

1.4 O problema

Os contratos de fornecimento de energia subscritos pelos consumidores têm necessariamente uma potência e tarifa contratada associadas, inteiramente relacionadas com as características do sistema para o qual se destina o contrato. Em muitos casos, as potências contratadas estão desajustadas à real necessidade dos clientes, acarretando custos inerentes. Por outro lado, mesmo que estas não sejam à priori desnecessariamente elevadas, uma gestão correta dos consumos permite a redução de picos energéticos possibilitando a alteração para uma potência contratada mais baixa. Uma abordagem similar pode ser feita à tarifa contratada pois qualquer consumidor tem os seus gastos quotidianos e, muitos deles, uma vez tendo uma tarifa contratada não mais se preocupam em conferir se é de facto a mais ajustada. Qualquer displicência ou falta de conhecimento, no final das contas, custa dinheiro. Cabe ao consumidor a tarefa de avaliar e optar pela combinação mais vantajosa. Na ótica dos distribuidores a questão central está na redução dos picos de consumo, em evitar o sobredimensionamento da rede, em prevenir possíveis falhas e em aumentar a fiabilidade do fornecimento.

1.5 Solução proposta

A importância de efetuar um controlo de toda a energia envolvida é notória, bem como, a necessidade de facultar aos utilizadores da rede elétrica ferramentas que os ajudem a tomar boas decisões e a gerir a informação recolhida.

Este trabalho visa a criação de um software de apoio à decisão que monitorize a produção conseguida e os consumos pretendidos e que possibilite, também, a negociação de energia entre utilizadores do sistema. Este software pretende determinar a melhor tarifa disponível, bem como, o horário mais oportuno para os consumos, analisando os dados recolhidos sobre os consumos e as produções.

Este software visa aconselhar o consumidor na escolha da tarifa e potência a contratar que melhor se ajustam ao seu perfil. Visa ainda planear os consumos do utilizador para horários oportunos considerando uma prévia estimativa de produção, utilizando para isso redes neuronais, algoritmos genéticos e serviços *web* meteorológicos.

Para o sistema ficar completo, os distribuidores têm fulcral importância na utilização do software. É desta forma que estas entidades comercializadoras vão: atualizando as tarifas e potências que pretendem disponibilizar aos clientes; monitorizando o sistema; gerindo as negociações solicitadas pelos consumidores e os seus contratos.

1.6 Estrutura da Dissertação

O **Capítulo 2** apresenta o estado de arte relativamente às *smart grids*, nomeadamente a sua definição, arquiteturas e alguns projetos desenvolvidos. É também apresentado um enquadramento energético de Portugal e da Europa, o funcionamento do sistema relativo à microprodução e a liberalização dos mercados.

O **Capítulo 3** aborda temas como as tecnologias utilizadas, particularmente infraestruturas de suporte tecnológico e métodos de análise de dados.

O **Capítulo 4** é dedicado ao conhecimento do sistema desenvolvido, através de uma visão de alto nível sobre a sua estrutura e o seu funcionamento.

O **Capítulo 5** versa sobre a implementação do trabalho fundamentado por este documento. Nele são apresentadas e clarificadas as etapas concretizadas para o desenvolvimento do presente trabalho.

O **Capítulo 6**, o das considerações finais, consiste na discriminação e discussões gerais dos desenvolvimentos efetuados na realização deste trabalho, além de indicar possíveis linhas de continuação.

Capítulo 2

Revisão do Estado da Arte

Neste capítulo é apresentado o panorama atual em *smart grids* na Europa e as perspectivas futuras. É descrito o modo como estas interagem com a típica rede elétrica. É apresentado um enquadramento energético de Portugal, o sistema de mini e micro produção e desenvolvimentos feitos no âmbito da presente temática.

2.1 *Smart grids*

A *smart grid* ou rede inteligente é uma atualização da rede elétrica, com comunicação bidirecional entre o fornecedor e o consumidor, com medição e monitorização inteligente, na qual se pode mostrar o comportamento e ações de todos os utilizadores ligados na rede (ENISA, 2012). *The European Smart Grid Task Force* e *The European Smart Grid Technology Platform (Smart Grids ETP)* definem as redes inteligentes como redes elétricas que podem integrar ações e comportamentos eficientes para todos os utilizadores ligados a esta - produtores, consumidores e aqueles que produzem e consomem - de modo a garantir um sistema energético economicamente eficiente e sustentável com poucas perdas e grande qualidade e segurança de fornecimento (ENERGY, 2012; EGOZCUE *et al.*, 2012). É ainda explicada, pelo departamento de energia¹, como a rede do futuro que incorporará tecnologia digital para melhorar a fiabilidade, segurança e eficiência do sistema elétrico através da constante troca de informação, produção distribuída e fontes de armazenamento. É bem patente que *smart grid* é um termo usado para referir a atualização da rede elétrica do século XXI, onde as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) são primordiais (por exemplo, computadores para controlo, monitorização e processamento remoto, automatização de sistemas, comunicação bidirecional entre os consumidores e fornecedores, medição inteligente, etc.) de forma a alcançar eficiência, sustentabilidade, qualidade, segurança, bem como, gestão distribuída de produção, armazenamento de energia, e também integrar produtores e consumidores na rede da melhor maneira.

Os objetivos das *smart grids* são maioritariamente iguais um pouco por todo o mundo. Elas facilitam uma maior participação dos clientes, suportam todo o tipo de produção, fornecem mais qualidade de fornecimento de energia, eficiência, segurança e fiabilidade, ao mesmo tempo que irão criar oportunidades para novos serviços e integração do mercado.

¹Designado por *Department of Energy, DoE*, na literatura anglo-saxónica.

Os benefícios das redes inteligentes são amplamente reconhecidos. As *smart grids* podem gerir a interação direta e a comunicação entre os consumidores, as famílias ou empresas, usuários da rede e outros fornecedores de energia. Esta funcionalidade abre possibilidades inéditas para os consumidores controlarem e gerirem os seus padrões de consumo individuais que podem ser combinados com preços e horários de energia elétrica. Uma melhor e mais incisiva gestão da rede, traduz numa rede que é mais segura e mais barata de operar. Futuramente as *smart grids* poderão ser a “espinha dorsal” de um sistema de energia isento de carbono. Estas, porém, vão permitir a integração de uma vasta quantidade de energias renováveis e veículos elétricos, enquanto mantêm a disponibilidade para produção de energia convencional e adequação do sistema energético. Além disso, a implementação de redes inteligentes fornece uma oportunidade para impulsionar a competitividade e liderança tecnológica mundial dos fornecedores de componentes elétricos e eletrônicos, que são compostos principalmente de PME’s. Finalmente, as *smart grids* trazem oportunidades para as empresas de energia já existentes ou novas, como as TIC, com o intuito de desenvolver novos serviços energéticos, tendo em conta a proteção de dados e os problemas de segurança cibernética. Esta dinâmica deve reforçar a concorrência no mercado, incentivar a redução das emissões de gases de efeito de estufa e proporcionar uma oportunidade para o crescimento económico (COMMISSION, 2011).

2.1.1 Na Europa

Na Europa foram estabelecidos três objetivos centrais para a energia, aprovados pelo Conselho Europeu em Março de 2007: aumento da segurança no fornecimento, assegurar a competitividade das economias europeias e uma oferta energética a preços acessíveis, e promover a sustentabilidade ambiental e o combate às alterações climáticas. Quanto ao objetivo da política para as alterações climáticas, o *Europa 2020* estabelece três metas principais de estratégia de crescimento para a próxima década (COMMISSION, 2010): as fontes renováveis contribuírem em 20% do consumo final energético da Europa, as emissões de gases caírem em 20% (ou mesmo 30%) e que os ganhos em eficiência energética se traduzam em 20% da poupança no consumo de energia.

No decorrer da década passada, mais de €5.5 mil milhões foram investidos em cerca de 300 projetos em *smart grid* como apresenta a Figura 2.1. Do orçamento europeu vieram cerca de €300 milhões para a concretização desses projetos. Hoje, apenas 10% das habitações na UE têm algum tipo de contador inteligente instalado. No entanto, os consumidores com contadores inteligentes reduziram o seu consumo de energia em cerca de 10% (COMMISSION, 2011).

Alguns projetos sugerem que a atual eficiência energética pode ser ainda maior, enquanto que outros indicam que as redes inteligentes podem ter maior contributo na redução das emissões de CO_2 . O estudo intitulado de *Smart 2020*², estimou uma redução de 15% de emissões de CO_2 enquanto que um outro, *Bio Intelligence Service* (BIO INTELLIGENCE SERVICE, 2008), concluiu que as *smart grids* podem reduzir o consumo anual energético primário da UE em quase 9% até 2020.

O mercado dos eletrodomésticos inteligentes está projetado para crescer globalmente de \$3,06 mil milhões em 2011 para \$15,12 mil milhões em 2015. É ainda estimado que o investimento esperado seja cerca de 15% para a implantação de medição inteligente e, de 85% para modernização do sistema (COMMISSION, 2011).

²Consultar <http://www.gesi.org/LinkClick.aspx?fileticket=tbp5WRTHUoY\%3D&tabid>.

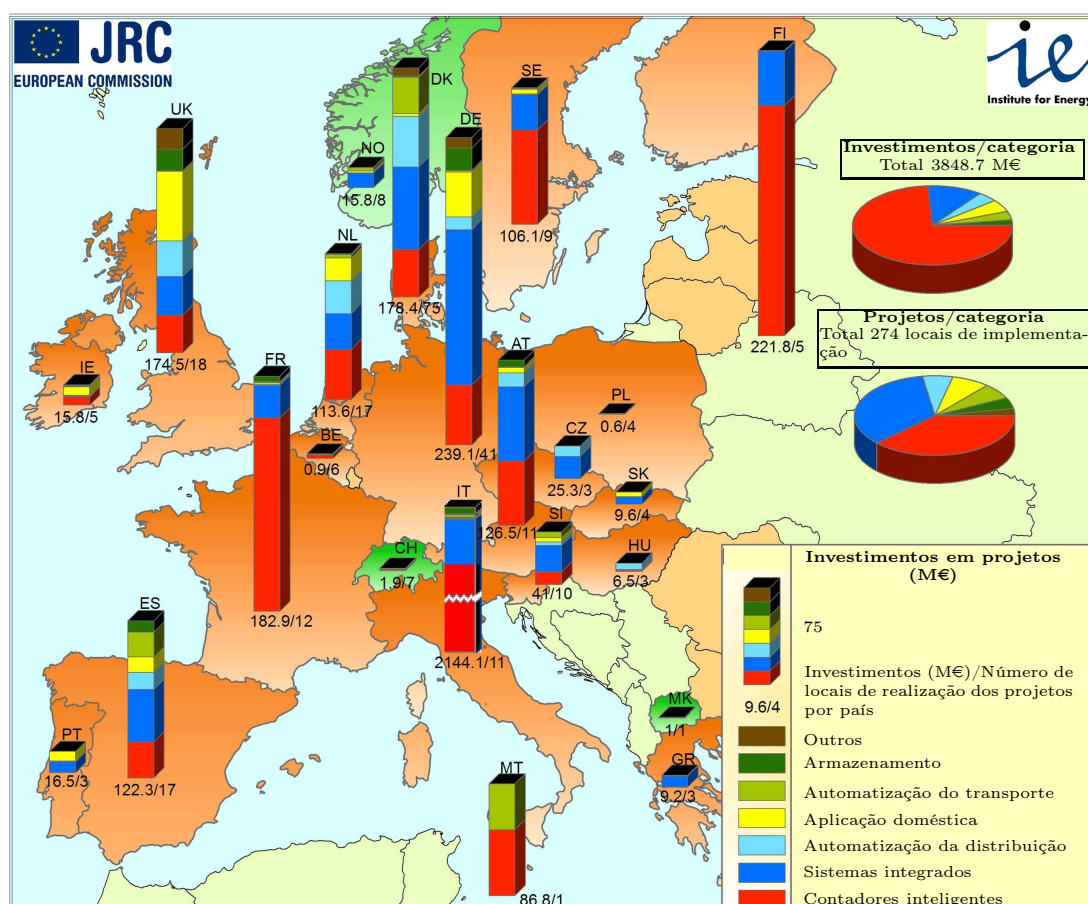


Figura 2.1: Visão global do investimento e implementação de *smart grids* na UE (COMMISSION, 2011).

Existem desafios a ser enfrentados o mais rápido possível, a fim de acelerar a implementação das redes inteligentes. A Comissão Europeia propôs no comunicado de 12 de Abril de 2011 (COMMISSION, 2011) alguns pontos de foco:

- (1) Desenvolver normas europeias *standards* para redes inteligentes;
- (2) Assegurar proteção de dados para os consumidores;
- (3) Estabelecer um quadro regulatório para fornecer incentivos ao desenvolvimento e implementação de *smart grids*;
- (4) Garantir um mercado aberto e competitivo do interesse dos consumidores;
- (5) Fornecer apoio contínuo à inovação da tecnologia e sistemas.

2.1.2 Arquitetura *smart grid*

Em *smart grids*, muitas fontes renováveis serão ligadas ao sistema de distribuição e transmissão como componentes integrais do sistema. As típicas fontes de energias renováveis incluem a eólica, a solar, as pequenas hidroelétricas, a energia das marés, a geotérmica

e a de resíduos. Pode ser vendida para a rede elétrica toda a energia produzida por estas fontes de menor escala ou apenas a que excede as necessidades locais. A Figura 2.2 ilustra um modelo de rede inteligente onde A é uma central eólica, B é uma barragem, C é uma central de queima de carvão, D é uma central geotérmica, E e F são habitações com produção fotovoltaica, G e H são casas com produção eólica, I é a infraestrutura de transmissão de energia, J é a infraestrutura de comunicação, K a Q são os sete domínios constituintes designadamente *bulk generation*, transmissão, distribuição, operações, mercado, clientes e fornecedores de serviços, respetivamente (WANG/XU/KHANNA, 2011).

Para gerir eficazmente este sistema de energia complexo, que envolve um elevado número de dispositivos diversamente funcionais, é necessária uma infraestrutura de comunicação para coordenar as funções distribuídas em todo o sistema de energia. Este sistema é composto por sete blocos funcionais, que são, nomeadamente, *bulk generation*, transmissão, distribuição, operação, mercado, consumidores e fornecedores de serviços (WANG/XU/KHANNA, 2011).

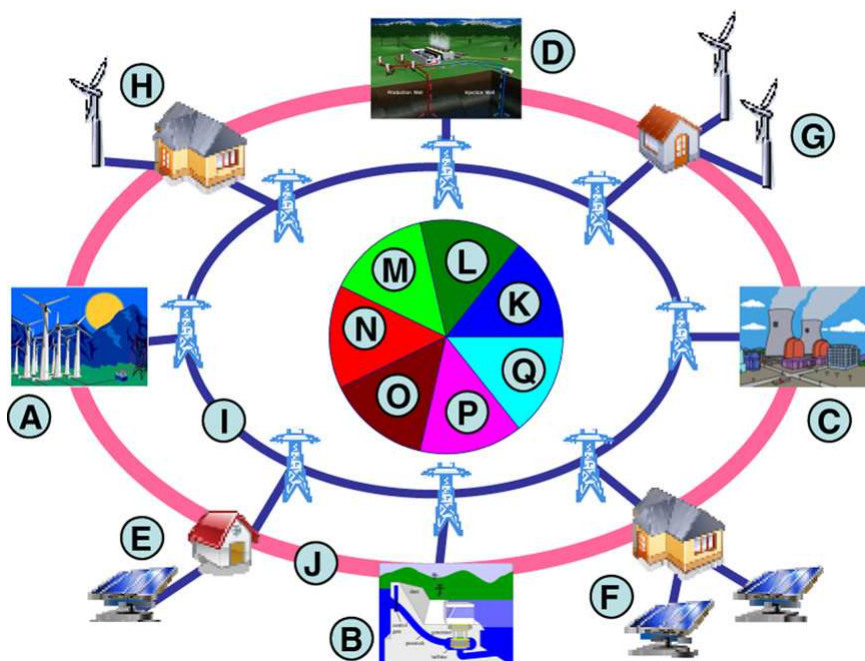


Figura 2.2: Ilustração de um modelo de *smart grid* (WANG/XU/KHANNA, 2011).

Bulk generation

As centrais de *bulk generation* são grandes instalações centralizadas. A eletricidade é produzida usando recursos como petróleo, carvão, fissão nuclear, correntes de água, radiação solar, vento, força das marés, entre outros. Neste bloco funcional também pode ser armazenada eletricidade para gerir a variabilidade de recursos renováveis: a eletricidade excedente produzida nos momentos de riqueza de recursos pode ser guardada para redistribuição em circunstâncias de escassez destes. A eletricidade tem que perfazer longas distâncias para chegar aos clientes e como resultado uma grande quantidade de energia é perdida. O domínio *bulk generation* está ligado ao domínio da transmissão. Além disso, comunica com o domínio de mercado através de uma interface de serviços de

mercado com o uso da internet. Esta ligação entre domínios é necessária para comunicar parâmetros fundamentais como a capacidade de produção e escassez de outros domínios (WANG/XU/KHANNA, 2011).

Transmissão

A eletricidade produzida é transferida para o bloco de transmissão por via de múltiplas subestações e linhas de transmissão. A transmissão é tipicamente operada e gerida por RTO (*Regional Transmission Operator*) ou um ISO (*Independent System Operator*). A RTO é responsável por manter a estabilidade das linhas de transmissão regional através do balanceamento entre a procura e o fornecimento de energia. O domínio de transmissão pode também suportar a produção de energia de pequena escala e armazená-la. De modo a efetuar um constante visionamento do estado de situação, uma série de informação é capturada a partir da rede e é enviada para os centros de controlo. Os centros de controlo também enviarão respostas para os equipamentos das outras subestações. A comunicação bidirecional entre os centros de controlo e as subestações é tratado no domínio da transmissão (WANG/XU/KHANNA, 2011).

Distribuição

O encaminhamento da eletricidade para os consumidores finais no domínio do consumidor é implementado através da utilização das infraestruturas elétricas e de comunicação que ligam os blocos funcionais da transmissão e do consumidor. Este bloco inclui alimentadores e transformadores de distribuição para fornecer eletricidade, interagindo com diversos equipamentos, tais como DER (*Distributed Energy Resource*), PEV (*Plug-in Electric Vehicle*), AMI (*Automatic Metering Infrastructure*) e sensores capazes de efetuar a comunicação. Este domínio da distribuição assume a responsabilidade de fornecer eletricidade aos consumidores de acordo com as procura dos usuários e da disponibilidade de energia. A fim de fornecer qualidade elétrica, a estabilidade deste domínio é monitorizada e controlada (WANG/XU/KHANNA, 2011).

Operação

Este domínio mantém ótimas e eficientes as operações nas áreas da transmissão e distribuição, utilizando um EMS (*Energy Management System*) e um DMS (*Distribution Management System*), respetivamente. A Operação usa FAN (*Field Area Network*) e WAN (*Wide Area Network*) nos domínios de transmissão e distribuição para obter informações das atividades do sistema energético, como o monitoramento, controle, gestão de falhas, manutenção e análise. A informação é obtida utilizando sistemas SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) (WANG/XU/KHANNA, 2011).

Mercado

O equilíbrio entre o fornecimento e a procura de eletricidade é mantido pelo domínio do mercado. Este domínio é composto por comercializadores que fornecem eletricidade para os utilizadores finais. Uma comunicação eficaz entre *bulk generation*, os DERs e o mercado é essencial para ajustar a produção de eletricidade à sua procura.

Para este domínio, as inovações que as redes inteligentes trazem são: simplificação das regras do mercado; gestão do crescimento da comercialização de energia; evolução dos mecanismos de comunicação entre o mercado e os clientes.

A liberalização do sector energético, junto com a rede de distribuição, clientes e indústria, irá também permitir que os mercados se tornem mais flexíveis do que são hoje. Os clientes são avaliados para ter mais opções como escolher o melhor fornecedor de energia. Além disso, os mercados vão desempenhar um papel importante, através de incentivos, com ofertas de energia de última hora, por exemplo quando um vento súbito permite a produção de energia renovável para contribuir para a rede (WANG/XU/KHANNA, 2011).

Consumidores

Os clientes consomem, produzem ou armazenam eletricidade. Este inclui habitações domésticas, edifícios comerciais ou industriais. Está ligado ao domínio da distribuição e comunica com os da operação, fornecedores de serviços e mercado. O domínio do consumidor também apoia o processo de resposta à procura. Para permitir a participação ativa na rede, uma interface de comunicação bidirecional entre as instalações do consumidor e o domínio da distribuição é necessária. Isto é geralmente referido como o ESI (*Energy Services Interface*) e está presente nas instalações do cliente. Uma rede de comunicação dentro das instalações dos consumidores é precisa para permitir a troca de dados e comandos de controlo entre o utilizador e os dispositivos inteligentes. Esta rede é definida como HAN (*Home Area Network*) e espera-se que suporte aplicações como controlo remoto de cargas, monitorização e controlo DER, suporte para IHD (*In-Home Display*) para utilização do cliente e integração com construção de sistemas de gestão (WANG/XU/KHANNA, 2011).

Fornecedores de serviços

A eletricidade é fornecida aos consumidores finais através dos fornecedores de serviços. Estes gerem serviços como faturação e gestão da quantidade de clientes. Este bloco comunica com o domínio das operações para obter informações das medições e do estado das situações e do controlo do sistema. Comunica com HANs no domínio do consumidor através de ESI para fornecer serviços inteligentes como gestão do uso energético e produção de energia (WANG/XU/KHANNA, 2011).

2.2 Enquadramento energético em Portugal

O bem-estar proporcionado pelo uso generalizado e desmedido de energia tem impulsionado o seu consumo. A dependência energética é o coeficiente que avalia os níveis de importação relativamente ao consumo efetuado no país. É importante ter noção do quão dependente o país é a nível energético. Na Figura 2.3 está representada a evolução da dependência energética até ao ano 2011. Os valores apresentados são dados disponibilizados anualmente pela DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG, 2011).

É visível na Figura 2.3 que a tendência é no sentido de aumentar a independência a nível energético, verificando-se uma maior diminuição de dependência nos intervalos

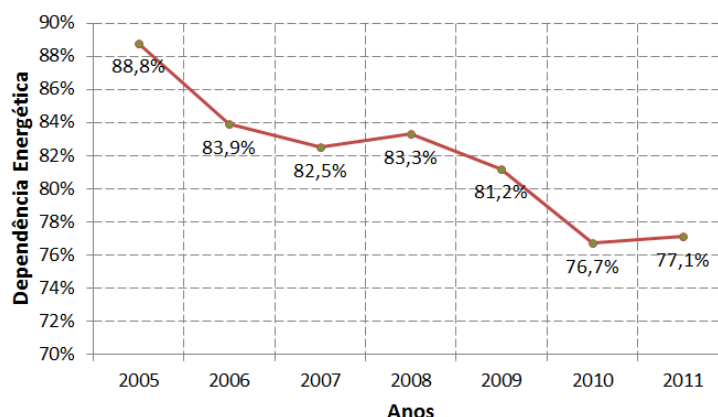


Figura 2.3: Evolução da dependência energética em Portugal (DGE, 2011).

2005/2006 e 2009/2010. Constatase um aumento em 0,4% de 2010 para 2011, devendo-se sobretudo a um aumento do consumo de carvão na produção de energia elétrica, para compensar a redução na produção hídrica (DGE, 2011). Ter um ano de seca ou de muita chuva influência bastante estes dados pela maior utilização ou não das fontes hídricas.

Na Figura 2.4 são apresentadas as importações, as exportações e os consumos por tipo de produto energético, realizados em Portugal no ano de 2010. Todos os dados mostrados adiante foram recolhidos da PORDATA - Base de Dados Portugal Contemporâneo e no caso de alguma exceção essa será mencionada.

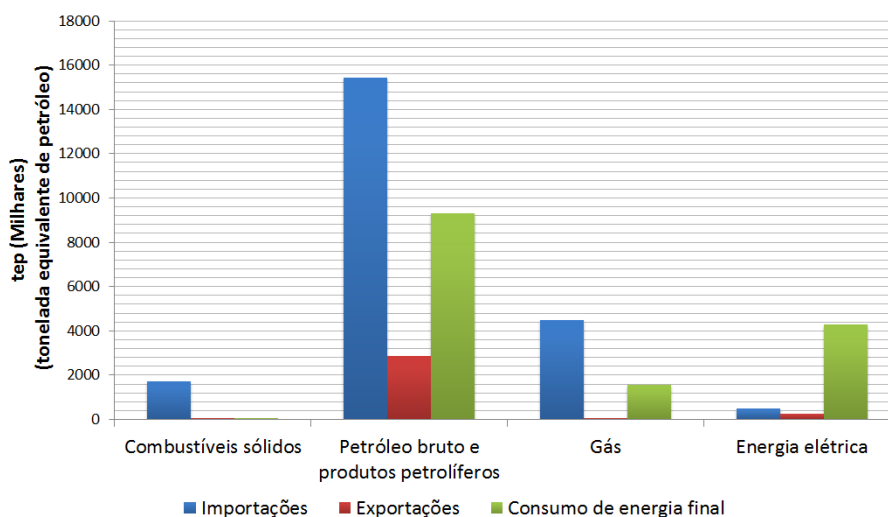


Figura 2.4: Importação, exportação e consumo energético em Portugal por tipo de produto, relativo ao ano de 2010 (PORDATA, 2012).

Deste gráfico é possível verificar a grande diferença da importação face à exportação, o que reflete a incapacidade de produção interna para o consumo do país, levando então à necessidade de importar grandes quantidades de energia. Desta forma verifica-se que se mantém a dependência energética em valores elevados, superiores a 80%.

Ainda em relação ao consumo afeto ao país, a Figura 2.5 ilustra percentualmente os tipos de setores consumidores. Verifica-se que os setores que mais consomem energia são o dos transportes e da indústria. É oportuno salientar que o trabalho desenvolvido no âmbito da presente dissertação tem a sua utilidade nos setores dos serviços, indústria e agregados domésticos. Estes representam mais de metade do total do setor consumidor.

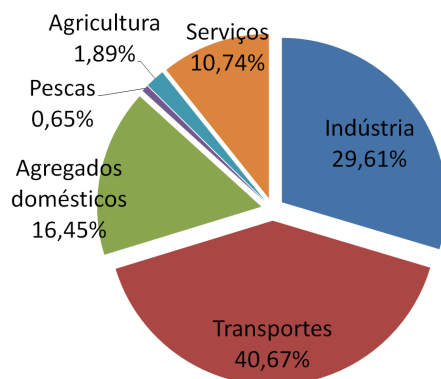
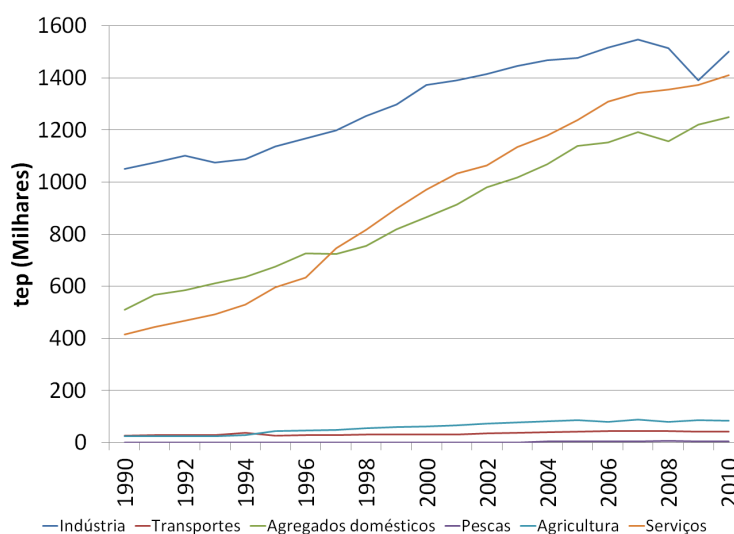


Figura 2.5: Consumo de energia final por tipo de setor consumidor (PORDATA, 2012).

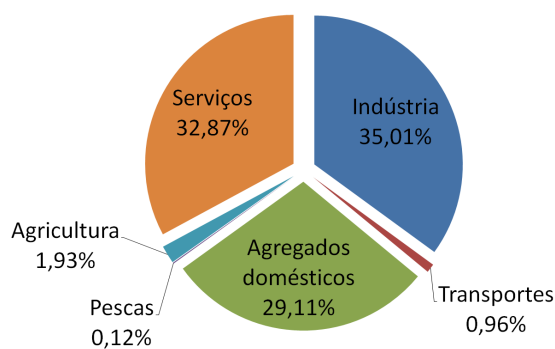
Entretanto, e uma vez que o trabalho é focalizado no setor elétrico, faz todo o sentido verificar o panorama neste setor. Assim, na Figura 2.6 é apresentada a evolução histórica do consumo de energia elétrica na década de 90 e do primeiro decénio do século XXI bem como o consumo elétrico percentual de Portugal para o ano de 2010, correspondentes a cada tipo de setor consumidor. O setor da indústria continua a ser o mais consumidor contudo, constata-se que a diferença com os setores dos serviços e domésticos tem gradualmente diminuído. Esta aproximação é bem visível na Figura 2.6b com percentagens muito próximas que rondam os 32%.

Para a produção de energia elétrica, Portugal trabalhou no sentido de garantir a segurança no abastecimento energético e, também auxiliar na redução da dependência energética externa. Na Figura 2.7 são apresentadas as produções de energia em Portugal bem como a evolução registada desde 1990 até 2010. Uma observação inicial a esta figura, e não menos importante, é o facto de Portugal não usar a energia nuclear, o que reflete a preocupação do Estado Português com os riscos ambientais associados à geração de energia a partir desta fonte energética. Esta inquietação ambiental ganhou nova expressão um pouco por todo mundo, após o acidente nuclear ocorrido no Japão, em março de 2011. Verifica-se ainda que a energia proveniente de fontes hidráulicas contribui significativamente para a matriz energética. É possível constatar o crescente aumento nos últimos anos da produção de energia eólica pela aposta feita na instalação de parques eólicos em território nacional. A energia solar, apesar de se apresentar com menor produção, está a dar um grande impulso. Portugal já conta com algumas das maiores centrais fotovoltaicas do mundo instaladas e em funcionamento, como exemplo o parque localizado no concelho de Moura com uma capacidade de 46.41 MW de pico.

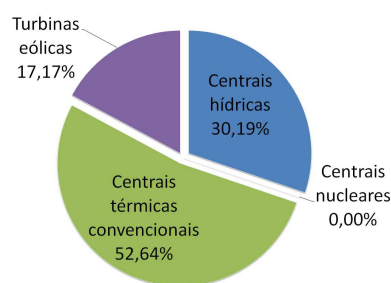
Portugal deve continuar a implementar medidas de eficiência energética bem como procurar métodos de poupança ainda não usados.



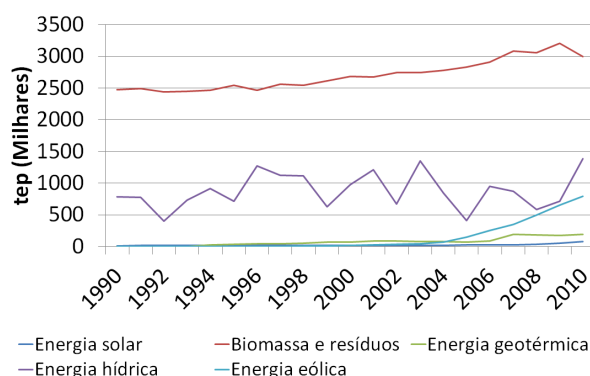
(a) Evolução do consumo elétrico em GWh.



(b) Consumo elétrico percentual de 2010.

Figura 2.6: Consumo de energia elétrica por tipo de setor consumidor^a (PORDATA, 2012).^aUnidade apresentada é GWh: 1GWh = 86 tep

(a) Produção bruta de eletricidade por tipo de fonte energética de 2010.



(b) Produção primária de energias renováveis por tipo de energia renovável de 2010.

Figura 2.7: Produção de eletricidade e de energias renováveis (PORDATA, 2012).

2.3 Plano de Promoção da Eficiência no Consumo

Ao longo dos últimos anos as alterações climáticas têm tido uma importância crescente a nível mundial e, nesse sentido têm sido levadas a cabo várias iniciativas, conduzindo mesmo à criação de vários diplomas. “*Energy and Climate Change Package*” foi divulgado em 2007 pela Comissão Europeia e nele retrata uma política comum para o ambiente e energia, focalizado nas alterações climáticas. Este tem como principais objetivos a redução em 30% das emissões de CO_2 em 2020³, se existir um acordo internacional (a UE compromete-se a reduzir em 20% as suas emissões no caso de inexistência de acordo), a redução em 20% do consumo de energia pelo aumento de eficiência energética e aumento em 20% do total de energia produzida proveniente de fontes renováveis. Para os alcançar cada país deve estabelecer um plano de ação para a eficiência energética. Uma vez que o abrandamento das alterações climáticas obriga a uma concertação a nível mundial, a Comissão Europeia apresentou em janeiro de 2009 algumas propostas para um novo acordo internacional a suceder ao Protocolo de Quioto (PQ). Todavia, da conferência das Nações Unidas realizada em Dezembro do mesmo ano, apenas resultou um acordo voluntário, legalmente vinculativo e adotado por todos os países da ONU (ERSE, 2012b).

Portugal assumiu um limite para o aumento de emissões de gases de efeito de estufa (GEE) em 27% no período de 2008-2012³. O Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) atribuiu à Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) a responsabilidade de estabelecer mecanismos para promover a eficiência energética ao nível da procura e redução do consumo de energia elétrica. A Estratégia Nacional para a Energia (ENE) estabelece algumas medidas a adotar e entre elas constam: “*A promoção de políticas de eficiência energética por parte das empresas de oferta de eletricidade*” e “*financiar ações de promoção da eficiência energética*”. Neste sentido foi aprovado o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) - Portugal Eficiência 2015, onde constam um amplo conjunto de programas e medidas fundamentais para Portugal conseguir os objetivos definidos no âmbito da diretiva europeia.

Em 2010, o Governo definiu a Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020), onde consolida o objetivo de redução de 20% do consumo de energia final em 2020, apostando em “*...medidas comportamentais e fiscais, assim como em projetos inovadores, designadamente os veículos eléctricos e as redes inteligentes, a produção descentralizada de base renovável e a optimização dos modelos de iluminação pública e de gestão energética dos edifícios públicos, residenciais e de serviços*”. Isto é, para além da redução do consumo, aposta nas energias renováveis e na eficiência energética promovendo a independência energética e financeira do país contribuindo para a redução de emissões GEEs (ERSE, 2012b).

Para coadjuvar no cumprimento dos objetivos traçados, a ERSE instituiu o Plano de Promoção da Eficiência no Consumo (PPEC) de Energia Elétrica, o qual possui como principais propósitos reduzir a intensidade energética portuguesa e ajudar na mudança de comportamento da população em geral (ANTUNES, 2012). Estas medidas de eficiência no consumo são classificadas em tangíveis e intangíveis, onde as tangíveis são, por sua vez, categorizadas de acordo com o segmento de mercado: indústria e agricultura; comércio e serviços; residencial. O PPEC 2011-2012 prevê “*assegurar benefícios avaliados em cerca de 155 milhões de euros em medidas tangíveis com um custo de 18 milhões de*

³Valores comparativos com os níveis do ano de 1990.

euros”. Antecipa ainda que as poupanças de energia elétrica, consequentes da aplicação do PPEC, sejam de 2 244 GWh (ou 830 mil $tonCO_2$) (ERSE, 2012b). É possível verificar na Figura 2.8a que no domínio tangível há um predomínio de medidas para a iluminação (inclusivamente iluminação pública), para variadores eletrónicos de velocidade e de sistemas de gestão de consumos. Na vertente intangível, Figura 2.8b, prevalece a divulgação de campanhas e conteúdos de informação aos consumidores, seguindo-se os concursos e as auditorias (ERSE, 2012b). No Apêndice A, apresentam-se as medidas aprovadas no último PPEC separadas por tipologia e pelos diversos setores de mercado, apresentado os custos bem como os respetivos promotores.

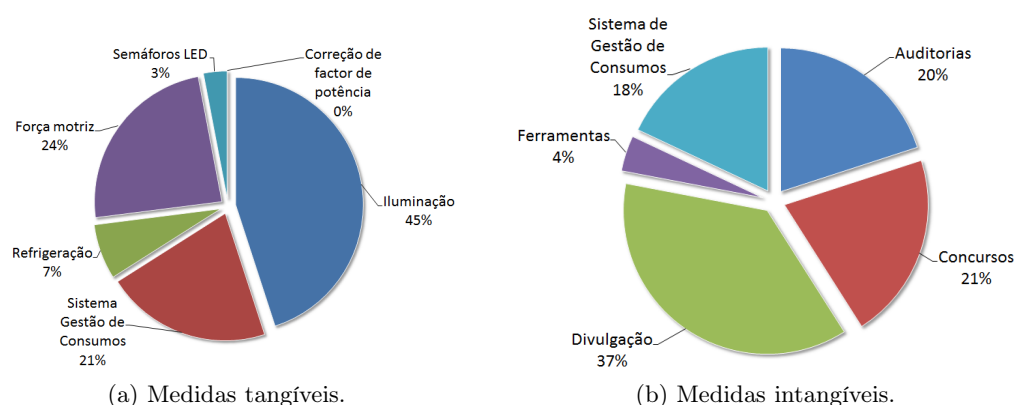


Figura 2.8: Tipologia das medidas aprovadas no PPEC 2011-2012 (ERSE, 2012b).

2.4 Micro/Miniprodução em Portugal

Com a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 363/2007, de 2 de Novembro, qualquer cidadão em Portugal pode tornar-se produtor de eletricidade por intermédio de unidades de microprodução, dispondo de um contrato de compra de eletricidade de baixa tensão e de uma unidade de microprodução com potência não superior a 50% da contratada no referido acordo. Este decreto foi substituído pelo Decreto-Lei n.º 118-A/2010, de 25 de Outubro. O Decreto-Lei n.º 34/2011, de 8 de Março, promulga o regime de miniprodução em Portugal.

2.4.1 Microprodução

Este regime aplicado pelo Governo à atividade de produção de eletricidade, também conhecido por renováveis na hora, está abrangido no Programa de Simplificação Administrativa e Legislativa SIMPLEX 2007. Atualmente o Sistema de Registo de Microprodução (SRM) conta com mais de 19 500 registos, correspondendo a cerca de 71 MW de potência instalada. Este decreto para a microprodução caracteriza-se primordialmente pela existência de dois regimes remuneratórios: o regime bonificado, apenas aplicável aos produtores que se enquadrem no artigo 9.º do Decreto-Lei n.º 363/2007, sendo que neste a potência máxima de ligação está definida em 3.65 kW; e o regime geral, que se aplica a todos os que não se enquadrem no regime bonificado, com potência de ligação até 5.75 kW ou no caso dos condomínios até 11.04 kW.

Regime bonificado

Como já referido, para beneficiar deste regime é necessário verificar certas condições contempladas no artigo 9.º e 11.º, de onde verifica que a instalação “*disponha de colectores solares térmicos com um mínimo de 2m² de área útil de colector ou de caldeira a biomassa com produção anual de energia térmica equivalente*” caso não esteja prevista a instalação de unidades de co-geração a biomassa para ser integrada no aquecimento do edifício.

O regime bonificado é o que oferece melhores condições aos produtores de energia. Neste regime, “*o produtor é remunerado com base na tarifa de referência que vigorar à data da emissão do certificado de exploração*”. Atualmente a “*tarifa é aplicada durante um total de 15 anos (...) subdivididos em dois períodos, o primeiro com a duração de 8 anos e o segundo com a duração dos subsequentes 7 anos*”.

A tarifa é cobrada desde o início do fornecimento à rede sendo esta “*fixada em €400/MWh para o primeiro período e em €240/MWh para o segundo (...) sendo o valor de ambas as tarifas sucessivamente reduzido anualmente em €20 MWh*”. Contudo, esta tarifa varia consoante o tipo de energia utilizada, sendo determinada mediante a aplicação das percentagens apresentadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Fator percentual aplicado à tarifa para os diferentes tipos de energia primária (NACIONAL/REGULADORA/CONSTITUCIONAL, 2010).

Tipo de energia	Fator (%)	Remuneração (€/kWh) (1.ºP/2.ºP)
Solar	100	0.400/0.240
Eólica	80	0.320/0.192
Hídrica	40	0.160/0.096
Co-geração a biomassa	70	0.280/0.168
Co-geração não renovável	40	0.160/0.096

Regime geral

No regime geral, como descrito no artigo 10.º, “*a tarifa de venda de eletricidade é igual ao custo da energia do tarifário aplicável pelo comercializador de último recurso do fornecimento à instalação de consumo*”. Isto torna pouco viável muitos investimentos, traduzindo-se num reduzido número de sistemas licenciados ao abrigo deste regime.

Processo de registo no SRM

O SRM constitui uma plataforma eletrónica acessível através do Portal Renováveis na Hora⁴, de interação entre a Administração Pública e os produtores.

Para efetuar o registo como produtor é primordial fazer a inscrição no SRM preenchendo um formulário eletrónico. A inscrição segue para “*a fase de aceitação e termina com a atribuição de potência de ligação de acordo com a programação estabelecida nos termos do n.º 10 do artigo 11.º*”. No caso de estarem reunidas todas as condições necessárias, é enviada uma notificação de registo aceite e a atribuição de potência. Após a confirmação do registo deve-se proceder ao pagamento da taxa de registo no SRM à

⁴Acessível pelo o endereço <http://www.renovaveisnagora.pt/>.

CERTIEL - Associação Certificadora de Instalações Eléctricas (de acordo com a Portaria n.º 1185/2010, de 17 de Novembro), num prazo de 5 dias úteis.

Após o pagamento há um prazo de 120 dias para completar a instalação da unidade de microprodução e efetuar o pedido de inspeção, sob pena de caducidade deste. A empresa instaladora escolhida tem de estar registada no SRM. “*A inspecção é efetuada nos 10 dias subsequentes ao pedido de inspecção*”. “*O registo torna-se definitivo com a emissão do respectivo certificado de exploração*”.

2.4.2 Miniprodução

Ao abrigo da Decreto-Lei n.º 34/2011, de 8 de Março, a miniprodução é a “*actividade de pequena escala de produção descentralizada e electricidade, recorrendo, para tal, a recursos renováveis e entregando, contra remuneração, electricidade à rede pública, na condição que exista consumo efectivo de electricidade no local da instalação*”.

Neste atual regime de miniprodução, “*para além de permitir ao produtor consumir a eletricidade produzida pela sua instalação, permite-lhe vender a totalidade dessa eletricidade à rede eléctrica de serviço público (RESP)*”. De maneira similar à microprodução, esta possui dois regimes remuneratórios: o regime bonificado e o regime geral, aplicável a todos os que tenham acedido à atividade de miniprodução e não se enquadrem no regime bonificado.

2.4.3 Liberalização de mercados

Como redigido no Decreto-Lei n.º 138-A/2010, no Programa do XVIII Governo Constitucional e na Estratégia Nacional do Conselho de Ministros n.º 29/2010, de 25 de Abril, “*foi atribuída especial relevância à construção do mercado interno de energia e à concretização do Mercado Ibérico de Electricidade (MIBEL)*” com o objetivo de estimular o impulso da liberalização do setor energético português protegendo, paralelamente, os consumidores.

O Decreto-Lei n.º 75/2012 de 26 de Março faz referência ao Memorando de Entendimento sobre as Condicionalidades de Política Económica, comemorado entre a Republica Portuguesa e o Banco Central Europeu, a Comissão Europeia e o Fundo Monetário Internacional que narra que o “*quadro do programa de auxílio financeiro a Portugal, obriga à extinção das tarifas reguladas de venda de eletricidade e gás natural a clientes finais*”. Na prática significa que as tarifas de venda de eletricidade e gás natural passam a ser definidas em regime de mercado, o que até então era feito anualmente pela ERSE, devendo os consumidores escolher um fornecedor de eletricidade no mercado.

O período de transição já está a decorrer atualmente e tem prazos definidos dependendo da potência contratada. Ou seja, segundo o anexo da Resolução do Conselho de Ministros n.º 34/2011, “*as tarifas reguladas de venda de eletricidade a clientes finais em baixa tensão com potência contratada inferior ou igual a 41,4 kVA e superior ou igual a 10,35 kVA e as tarifas reguladas de venda de gás natural a clientes finais com consumo anual inferior ou igual a 10 000 m³ e superior a 500 m³ são extintas a partir de 1 de Julho de 2012, ficando a respectiva venda submetida ao regime de preços livres*”. “*As tarifas reguladas de venda de electricidade a clientes finais em baixa tensão com potência contratada inferior a 10,35 kVA e as tarifas reguladas de venda de gás natural a clientes finais com consumo anual inferior ou igual a 500 m³ são extintas a partir de 1 de Janeiro de 2013, ficando a respectiva venda submetida ao regime de preços livres*”.

Após a extinção das tarifas reguladas, aos clientes que não tenham procedido à escolha do comercializador, aplicam-se as tarifas transitórias e serão comercializadores de último recurso⁵ a fornecer a energia. Isto é, para os clientes finais com potência contratada compreendida entre 10,35 kVA, inclusive, e 41,4 kVA, inclusive, e clientes com consumos anuais de gás natural inferior ou igual a 10 000 m³ e superior a 500 m³, o prazo limite é até 31 de dezembro de 2014. Para os clientes finais com potência contratada inferior a 10,35 kVA e clientes com consumo anual de gás natural inferior ou igual a 500 m³, o prazo limite é até 31 de dezembro de 2015. A Tabela 2.2 esquematiza esta cronologia. Esta tarifa transitória fica regulada pela ERSE podendo ser sujeita a alterações ou até mesmo cessada, segundo critérios estipulados em Decreto-Lei. Esta será ainda acrescida de um montante resultante da aplicação de um fator de agravamento, o qual visa induzir a adesão gradual às formas de contratação oferecidas no mercado.

Tabela 2.2: Período transitório para a extinção das tarifas reguladas.

Eletricidade	A partir de 1 de Julho de 2012	A partir de 1 de Janeiro de 2013	Até 31 de Dezembro 2014	Até 31 de Dezembro de 2015	Gás Natural
Potência $\geq 10,35$ kVA e $\leq 41,4$ kVA	×		×		Consumo $\leq 10\,000$ m ³ e > 500 m ³
Potência $< 10,35$ kVA		×		×	Consumo ≤ 500 m ³

Os consumidores considerados economicamente vulneráveis podem optar ou não contratar no mercado livre, sendo que mantêm em qualquer dos casos o direito aos descontos na tarifa social e no Apoio Social Extraordinário ao Consumidor de Energia (ASECE) (ERSE, 2012a).

2.5 Desenvolvimentos em *smart grids*

Como tem sido perceptível, muitos programas e propostas têm surgido no âmbito das redes inteligentes e eficiência energética. Dos muitos que já foram redigidos, salientam-se alguns dos mais atuais, dos quais se tomou conhecimento, como a comunicação europeia intitulada de “*Smart Grids: from innovation to deployment*” e o Tema Energia do Programa Cooperação do 7º Programa-Quadro (7ºPQ) de I&DT da União Europeia (COMMISSION, 2011).

O principal objetivo da criação de tais programas é o incentivo para a elaboração de projetos e iniciativas no âmbito da presente temática. Neste sentido muitas iniciativas de incentivo têm sido levadas a público um pouco por toda a Europa. Entre eventos *online*, *workshops*, conferências e demonstrações, muita informação foi divulgada e colocada em circulação na Semana Europeia da Energia Sustentável 2012. Em Portugal foram reservados 32 dias dedicados à energia verde em várias cidades do país. Externo a este evento evidenciam-se ainda o seminário internacional «IT4ENERGY 2012» realizado em Lisboa e a 1ª Conferência Internacional sobre Energia, Meio Ambiente e Sustentabilidade (EES 2012) realizada no Porto (COMMISSION, 2012; IT4ENERGY, 2012; EES, 2012).

Desta forma os projetos e trabalhos têm sido desenvolvidos, nem todos com o mesmo orçamento, contudo, todos com o objetivo de evolução e inovação. Todo e qualquer bom projeto necessita de uma boa base de sustentação, ou seja, uma abordagem mais teórica.

⁵Comercializadores sujeitos, nos termos da lei, à obrigação de fornecer eletricidade e/ou gás natural mediante uma tarifa fixada pela ERSE.

Exemplo disso são os estudos desenvolvidos com o intuito de encontrar a melhor estrutura para uma rede inteligente, avaliando todas as variantes e condicionantes possíveis e impossíveis de implementar. Sooraj Prasannan propôs uma arquitetura genérica de sistema a nível macro-micro aplicada a sistemas de gestão de medições em redes inteligentes. Para esta foram escolhidos os melhores módulos sobre a análise de outras duas arquiteturas. A arquitetura genérica ficou constituída pelos seguintes módulos: Data Input Module - agrupar a diferente informação vinda de diversos sistemas de MDMS (*Meter Data Management System*); configuração de bases de dados - armazenar informação de cada cliente (por exemplo: fuso horário, identificação do contrato, características de potência); criação de relatórios; módulo de faturação; segurança - controlo de todos os acessos de informação; módulo de acesso aos dados - aceder com outras aplicações à informação (*web*, transferência de ficheiros); sincronismo do sistema para comunicação em tempo real para fins específicos; interfaces que permitem visualizar a informação; módulo de gestão - gere o sistema (*updates, backups*) (PRASANAN, 2010). Já Gregory Sachs usa um princípio baseado numa arquitetura de sistema aplicada para definir, modelar e projetar a próxima geração de sistemas smart grid, sistemas complexos (SACHS, 2010). A necessidade das redes de energia inteligentes terem uma maior eficiência global é explorada pelos autores Fabio Orecchini e Adriano Santiangeli, através da integração de vetores de energia. Eles consideram que utilizar vetores energéticos para direcionar eficientemente a energia desde a fonte até ao consumidor é um claro avanço na estrutura da gestão da rede elétrica (ORECCHINI/SANTIANGELI, 2011).

A comunicação é um ponto fulcral para o bom funcionamento de uma *smart grid*, e neste sentido Wenye Wang, Yi Xu e Mohit Khanna fizeram uma retrospectiva de avaliação do atual estado das comunicações em redes inteligentes. Que tipos de comunicações existem, quais os mais usados, em que ambiente se utilizam e quais as estruturas de comunicação, são tudo questões pertinentes abordadas no artigo elaborado por estes autores (WANG/XU/KHANNA, 2011).

Após uma abordagem teórica segue-se uma mais prática. Neste campo é fundamental a gestão da informação e o recurso aos sistemas computacionais permitindo aos utilizadores tomar medidas adequadas que solucionem os problemas elétricos emergentes. Os dados recolhidos em tempo real podem ser comparados com dados previstos e/ou históricos para uma eficaz gestão da informação energética reportando o estado do sistema. A coleta de dados pode ser feita a partir de origens diferentes tais como SCADA, *Automated Meter Reading* (AMR), bases de dados e internet que são empurrados para *On Line Transaction Process* (OLTP), e logo adquiridos no *On Line Analytical Process* (OLAP). Estes dados podem ser adquiridos a cada minuto para analisar a informação energética e possibilitar a melhor tomada de decisão. SAGUE, Sistema de Apoio à Gestão de Utilidades e Energia, foi um sistema concebido para ajudar na análise de dados recolhidos de sistemas como ar comprimido, vapor, sistemas de bombeamento, sistemas para condicionamento ambiental e outros, integrados com medições de energia e variáveis climáticas. Foi desenvolvido com o intuito de transformar os dados oriundos de medições em informações que orientem diretamente as ações de conservação e uso racional de energia (NAGESH/SOWJANYA/TULASIRAM, 2008; ROSA, 2007). Na Figura 2.9 está exposto o Sistema de Gerenciamento de Energia Elétrica, SISGEN, o sistema base do SAGUE.

A *SunPower* é uma empresa norte-americana que comercializa soluções fotovoltaicas e oferece aos seus clientes informações respeitantes à microgeração, permitindo-lhes maximizar o investimento neste tipo de soluções (SUNPOWER, 2012). As informações

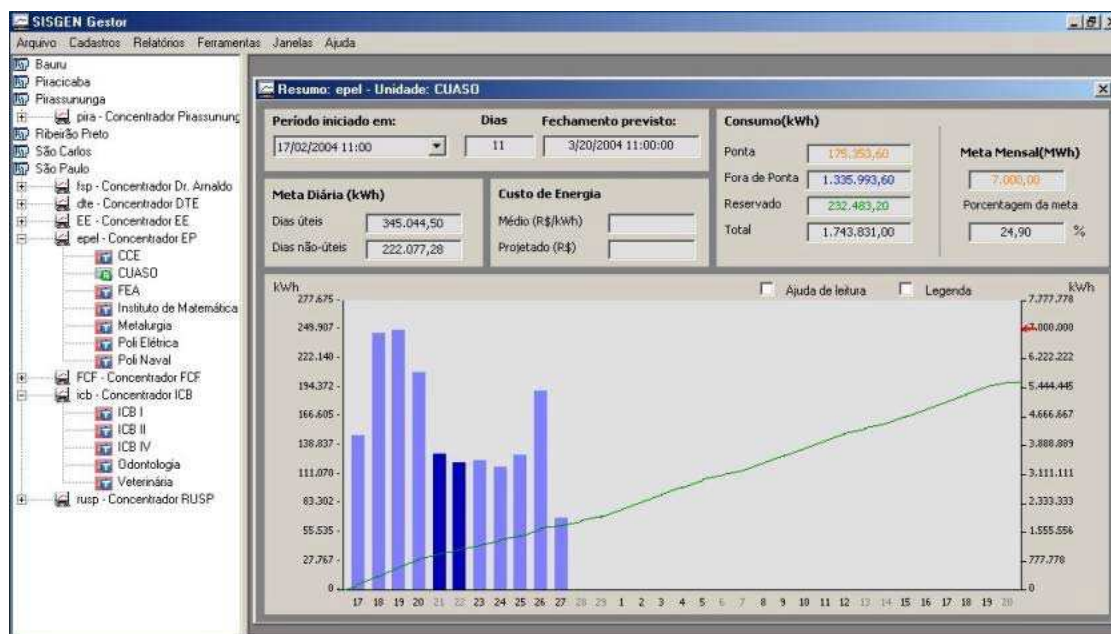


Figura 2.9: Gráfico de consumo diário e projeção de consumo mensal no SISGEN (ROSA, 2007).

podem ser seguidas através de alguns dos meios disponibilizados pela *SunPower*:

- Um monitor LCD, com *wireless* incorporado, destinado a estar no interior da habitação, onde estão disponíveis as informações em tempo real do consumo e da produção. Na Figura 2.10 está ilustrado este dispositivo.



Figura 2.10: Monitor LCD de energia para a residência (SOLAR, 2012).

- Com ligação à internet é disponibilizada uma interface do sistema de monitorização através do portal sunpowermonitor.com, apresentado na Figura 2.11. Após iniciar a sessão, o utilizador pode monitorizar os valores energéticos em tempo real, consultar o histórico diariamente, mensalmente, anualmente e até pode visualizar o benefício ambiental que resultou da sua produção renovável.



Figura 2.11: Portal da internet disponibilizado pela SunPower (SOLAR, 2012).

- Através de iOS ou Android⁶, para os quais é disponibilizada uma aplicação grátis que permite acompanhar, a partir de qualquer localização, toda a informação elétrica da sua produção. Está ilustrado na Figura 2.12.



Figura 2.12: Aplicação de monitorização para iOS e Android (SOLAR, 2012).

Sharing Energy System (SharEnergy) é uma infraestrutura computacional, outrora desenvolvida por Gonçalo Castro, que possibilita aos utilizadores gerirem, manualmente, as suas trocas de energia. Este autor salienta a importância da microprodução numa dimensão escalável e a relevância das redes sociais como o *facebook* e o *twitter* (DE CASTRO, 2010).

Uma interessante abordagem é a possibilidade de controlar remotamente e de forma automática o funcionamento dos equipamentos domésticos. Matallanas e seus colegas desenvolveram um sistema de controlo composto por módulos de agendamento e um módulo central organizador, todos contendo redes neuronais como base, *Artificial Neural Networks*. O sistema elétrico estudado incorporava uma produção de energia fotovol-

⁶São sistemas operativos móveis da Apple Inc e baseado em Linux, respetivamente.

taica, um sistema de armazenamento de energia e ligação à rede elétrica. Este sistema de controlo pretende fazer a programação dos horários para os diversos consumos e com isso maximizar o autoconsumo do utilizador, não reduzindo o consumo de energia mas controlando/movendo os consumos para períodos oportunos, tendo como objetivo beneficiar do melhor uso da energia produzida. Este plano permitirá: maximizar o consumo quando os recursos estão disponíveis; reduzir situações de congestionamento energético; reduzir os custos nas faturas mensais de energia; e suavizar a curva de procura (MATALANAS *et al.*, 2012).

Em Portugal também alguns serviços e equipamentos têm surgido no mercado, como o recém conhecido Fluksometer, Figura 2.13. Com este aparelho é possível monitorizar não só energia elétrica mas também recursos como sejam a água e o gás. O Fluckometer necessita de uma pinça amperimétrica para avaliar a corrente que passa pelos condutores de fase. Estas pinças devem ser apropriadas em função das características da instalação (monofásica ou trifásica), bem como da potência da mesma. Para uma habitação normalmente basta uma de 50 Amperes monofásica. Para outras situações nomeadamente, para instalações de serviços ou mesmo indústria existem pinças de 100A, 250A ou 500A. Estas funcionam pelo princípio físico da indução eletromagnética. O fluksometer utiliza a rede Wi-fi para enviar os dados adquiridos para os servidores da Flukso de 5 em 5 minutos. Através de um *web browser* é possível verificar os consumos de energia e os valores de potência em diferentes períodos de tempo (FLUKSO, 2012).



Figura 2.13: Fluksometer, dispositivo de medição e monitorização energética (FLUKSO, 2012).

Outro serviço é o “*Energy*” da Portugal Telecom, do mesmo género do anterior. Este permite a visualização dos consumos, não só na internet como também na televisão e ainda num mostrador digital. Para isso é essencial a colocação de um sensor no quadro elétrico, Figura 2.14 (PT, 2012a; PT, 2012b).

Recentemente a Energias de Portugal (EDP) e a REN equiparam as suas salas de despacho com OpenScape Xpert. Com esta solução, estas duas grandes empresas da área da energia pretendem “*aumentar a eficiência das suas operações e antecipar possíveis cenários de crise, proporcionando a rápida interação entre todos os intervenientes com o cruzamento de informação de várias fontes*”. O OpenScape da Siemens é “*uma solução de comunicação VoIP multi-canal, com uma arquitetura aberta, baseada em protocolos e componentes standard. Os recursos de rede permitem uma solução estável e fiável, incluindo a proteção da informação de todas as chamadas telefónicas por criptografia de voz e gravação*” (SOUSA, 2012).

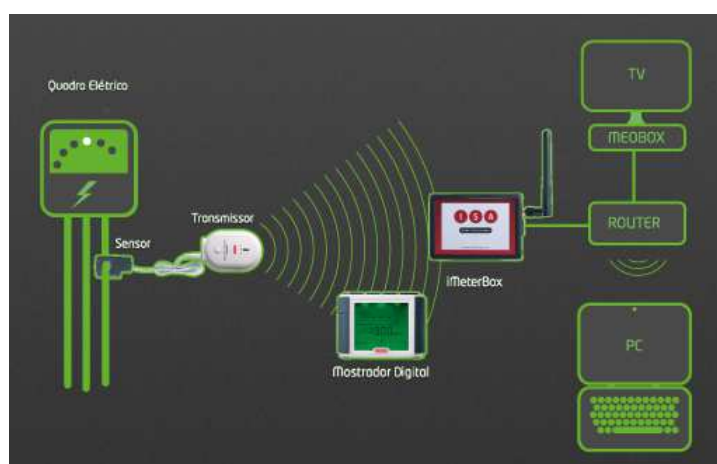


Figura 2.14: Esquema de instalação do serviço “Energy” (PT, 2012b).

Esta secção de desenvolvimentos não ficaria completa se não se analisá-se o projeto-piloto InovCity na cidade de Évora. Deste projeto fazem parte 31 000 clientes domésticos equipados com uma *Energy Box*, ilustrada na Figura 2.15. O essencial destes equipamentos é permitirem a atuação remota, evitando a deslocação das equipas técnicas e a presença dos consumidores para a execução de algumas tarefas, principalmente, alteração de potências e tarifas contratadas. A InovGrid permite controlar e adaptar a capacidade da distribuição às necessidades decorrentes do consumo e da produção de energia. Esta *smart grid* tem inúmeros equipamentos instalados ao longo da sua extensão e isso permite controlar, a cada instante, o estado de toda a rede, balancear cargas e prevenir avarias. A rede reage de imediato às ações dos consumidores e produtores quando eles, por exemplo, injetam energia na rede ou solicitam um aumento de potência (EDP, 2010a; EDP, 2010b; EDP, 2010c).



Figura 2.15: Energy Box - equipamento de contagem usado na InovCity (MARTINS, 2010).

Um pouco por todo o país e também na Europa as medidas de eficiência energética começam a massificar-se. Exemplo disto é a autarquia de Águeda que foi recentemente considerada um modelo de “cidade inteligente” entre as autarquias europeias. Esta distinção deve-se à aposta em infraestruturas tecnológicas amigas do ambiente e da economia local. Utiliza uma rede WiMax para a comunicação necessária, implantou uma rede de iluminação pública supervisionada de forma inteligente (com lâmpadas LED, vapor de sódio e até iódetos metálicos) e implementou o uso de bicicletas elétricas. Estas medidas já fizeram com que esta cidade reduzisse em 20% as emissões de gases poluentes (SIC, 2012).

Capítulo 3

Tecnologias de Suporte

Neste capítulo são descritas as infraestruturas tecnológicas de comunicação existentes, suas características, vantagens e desvantagens. São expostos os métodos e abordagens utilizadas nas análises feitas no âmbito deste trabalho.

3.1 Infraestruturas de suporte de rede

Muitas redes tecnológicas podem ser usadas para comunicações no domínio da transmissão, distribuição e do consumidor nas *smart grids*, mas nenhuma delas se adapta a todas as aplicações e há sempre um conjunto ou subconjunto de tecnologias melhor que pode ser escolhido para um determinado grupo de aplicações do sistema. Antes de ser uma tecnologia para comunicação de determinada aplicação no sistema energético, é necessário conhecer as tecnologias de rede existentes, para posteriormente fazer corresponder aos requisitos da aplicação as propriedades da tecnologia escolhida.

3.1.1 Tecnologias com fios

Cabo coaxial

A infraestrutura de cabo coaxial tem servido, principalmente, para serviços de multimídia, como os de televisão. Este proporciona largura de banda suficiente para transportar várias dezenas de canais de televisão. Em 1998, o ITU-TS (*International Telecommunications Union - Telecommunication Standardization Sector*) redefiniu a sua especificação de interface para dados sobre um serviço de cabo (DOCSIS - *Data Over Cable Service Interface Specifications*). Esta suporta débitos de 27 Mbps *downstream* e 10 Mbps *upstream* (TELES, 2007).

xDSL

O DSL (*Digital Subscriber Line*) designa uma tecnologia de banda larga que utiliza a rede telefónica para o transporte dos dados. Esta transporta dados e voz pela mesma linha, através da utilização de gamas de frequência diferentes.

As limitações deste tipo de tecnologia prendem-se com a distância e o estado do cobre na rede telefónica. Esta tecnologia pode ser utilizada em aplicações que requeiram alguma banda, como por exemplo, vídeo, jogos em rede, conferências, etc (TELES, 2007).

Dentro do DSL existem várias categorias e tecnologias que estão resumidas na Tabela 3.1, onde se apresentam as suas principais características.

Tabela 3.1: Velocidades de xDSL vs alcances. Baseada em COELHO (2002).

Tecnologia	Velocidade	Alcance
HDSL	2 Mbps	2,4 km a 4,9 km
ADSL	1,5 a 8 Mbps de <i>download</i> e 16 a 640 kbps de <i>upload</i>	4 km
SDSL	192 kbps a 2,3 Mbps	2,2 km a 2,8 km
VDSL	12 a 50 Mbps de <i>download</i> e 1,6 a 12 Mbps de <i>upload</i>	200 m a 1,5 km
ADSL2+	12 a 20 Mbps de <i>download</i> e 1,6 a 12 Mbps de <i>upload</i>	1 km a 5,4 km

Redes óticas passivas

As redes óticas passivas baseiam-se no conceito de transportar o sinal até ao cliente sobre uma infraestrutura de fibra ótica passiva. Existem duas formas de o efetuar: através de fibra direta entre o cliente e a central do operador ou por meio da combinação de fibra e cobre na rede de acesso (misturando mais fibra ou mais cobre).

As PON (*Passive Optical Networks*) estão padronizadas pelos organismos de normalização, como é o caso do ITU. Com a designação genérica de PON existem diversas variantes deste conceito, consoante o tipo de protocolo ou débito suportado (TELES, 2007). Na Tabela 3.2 está um resumo de algumas das variantes existentes.

Tabela 3.2: Características de redes óticas passivas (TELES, 2007).

Tecnologia	Velocidade	Alcance
ATM-PON	622,08 Mbps de <i>download</i> e 155 Mbps de <i>upload</i>	-
BPON	1244,6 Mbps de <i>download</i> e 622,08 de <i>upload</i>	20 km
GPON	2,4 Gbps	-
EPON	Normas IEEE 802.3	-

PLC

A tecnologia PLC (*Power Line Communications*) utiliza a rede elétrica para o transporte de dados. O custo e a disseminação da infraestrutura são as vantagens que sobressaltam. O montante de investimento na criação de infraestruturas é reduzido, uma vez que as linhas já existem e estão instaladas. A disseminação da infraestrutura é elevada dado que a maioria das habitações, escritórios e estabelecimentos têm energia elétrica.

Em Portugal os organismos reguladores desta tecnologia são a ERSE e a ANACOM (Autoridade Nacional de Comunicações).

A PLC permite a utilização das linhas de baixa tensão (110V/220V) e de média tensão (até 50kV). Atualmente as velocidades rondam os 5-6 Mbps (TELES, 2007).

ATM

A ideia da tecnologia da ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) é poder transportar qualquer tipo de informação, desde que esta esteja em formato digital. Existem três conceitos que estão ligados à sua forma de funcionamento: Célula, Endereçamento, e Circuitos virtuais.

O seu uso no acesso é limitado porque os débitos envolvidos e o custo de tal ligação são elevados. As velocidades típicas estão entre 155 Mbps e 622 Mbps (TELES, 2007).

Ethernet

A *ethernet* é a tecnologia mais usual nas redes de área local (LAN), especificada pela norma IEEE 802.3. A mais-valia desta tecnologia está no reduzido custo das suas interfaces e num protocolo pouco rígido. Dependendo do tipo de categoria dos cabos utilizados o alcance varia entre 100m e 1km (ótico). As velocidades estão entre os 10Mbps e 10Gbps.

3.1.2 Tecnologias sem fios

Bluetooth

O *Bluetooth* é uma tecnologia em contante evolução que comunica através das ondas rádio, numa banda de frequência no intervalo de 2,40 e 2,48 GHz. Esta banda é usada por muitos dispositivos de outras áreas como a da medicina, da indústria e de equipamento residencial. Atualmente o *Bluetooth* vai na versão 4.0, contudo isto não significa que a evolução tenha sido levada num único sentido, nomeadamente o melhoramento da velocidade. Isto é, as versões *v1.0* e *v1.1* do *bluetooth* possuem uma velocidade de transferência máxima de 1 Mbps e usam o sistema RSSI (*Received Signal Strength Indication*), enquanto que o *bluetooth v2.0* pode administrar até 3 Mbps, melhorando a facilidade de pareamento, aumentando a segurança das ligações e diminuindo o consumo de energia. Em Abril de 2009 a versão *bluetooth v3.0* foi lançada tendo como foco as taxas de alta velocidade na transferência de dados e pode alcançar 24 Mbps em condições favoráveis. Nos finais de 2009 foi anunciado o *bluetooth v4.0* e este não evoluiu na velocidade, mas sim na economia de energia. Esta última versão exige muito menos energia, e é especialmente interessante por exemplo para telemóveis que consomem muita energia quando o *bluetooth* está ligado. A velocidade padrão é de 1 Mbps.

As versões superiores funcionam igualmente nas versões inferiores, todavia a velocidade de transferência está limitada à suportada pelo dispositivo de versão mais baixa (TELES, 2007).

3.1.3 Tecnologias móveis

1G

A primeira geração de redes móveis (1G) apareceu em 1979 e a sua utilização é associada a aplicações de voz. A ligação era analógica e a qualidade era muito baixa bem como a transferência de dados.

GSM e GPRS

Cerca de 11 anos depois da 1G chega a segunda geração de redes móveis (2G), ou mais conhecida por GSM (*Global System for Mobile communications*), e é caracterizada por usar uma comunicação em formato digital. Os protocolos usados nos sistemas 2G suportam velocidades mais elevadas para transferência de voz, contudo são ainda bastante limitados na transmissão de dados. Esta tecnologia é normalmente usada em serviços de pequenos dados, fax e mensagens curtas. O passo adiante ao GSM foi o surgimento do GPRS (*General Packet Ratio Service*). Esta tecnologia oferece velocidades entre 40 kbps e 144 kbps. Com o GPRS, o canal é utilizado de forma mais eficiente, possibilitando que mais do que um utilizador partilhe o mesmo canal.

SMS e MMS

O serviço de mensagem curta, SMS (*Short Message Service*), permite a troca de mensagens alfanuméricas. Este está amplamente difundido e não está confinado aos operadores móveis, sendo possível oferecê-lo nas redes fixas.

O MMS (*Multimedia Messaging Service*) é a evolução do SMS. A diferença das suas tecnologias está na utilização de conteúdos multimédia como foto e música.

WAP

O acesso à *internet* via telemóvel é somente possível pelo uso do protocolo WAP (*Wireless Application Protocol*). O WAP foi desenvolvido por um consórcio de companhias da indústria das telecomunicações, cujo objetivo era ter um método normalizado para recursos pequenos e limitados, para aceder à *internet*.

Com a *internet* móvel pode aceder-se a uma série de aplicações tais como: notícias e informações de trânsito, o cartaz de cinema, farmácias, correio eletrónico, etc.

3G

A terceira geração de redes móveis (3G) é caracterizada por suportar a convergência entre voz-dados e o acesso à *internet* sem fios. É especialmente usada para aplicações de áudio, vídeo em movimento, vídeo-conferência, acesso rápido à *internet*, etc.

LTE

O *Long Term Evolution* (LTE) é um padrão de redes de comunicação móveis que está numa fase de adaptação pelas operadoras móveis. Esta tecnologia rádio permite velocidades de 100 Mbps de *download* e 50 Mbps de *upload* e, com isso, possibilita um desempenho semelhante às conexões de banda larga, via cabo.

O LTE foi criado para manter a compatibilidade com o GSM e o HSPA (*High Speed Packet Access*) e desta forma tornar possível aos operadores móveis efetuarem a transição sem descontinuidade dos serviços nas redes já existentes. Esta tecnologia usa frequências de 1,4 MHz a 20 MHz.

Presentemente este projeto foi atualizado e renomeado como *LTE Advanced*. Desta feita, é possível alcançar velocidades de *download* de 3,3 Gbps, em situações ideais. Em condições normais a taxa de *download* seria de 1 Gbps para dispositivos móveis parados

ou os 100 Mbps no caso de o utilizador estar em movimento, como andar de metro ou carro. Já a velocidade de *upload* da ligação é de 200 Mbps.

O LTE *Advanced* fornece uma cobertura mais alargada a um custo mais baixo. Utiliza ainda antenas do tipo MIMO (*Multiple-Input, Multiple-Output*) que aumentam a capacidade das ondas de transmissão (ARRUDA, 2011).

4G

A quarta geração de redes móveis (4G) pretende ser totalmente baseada em IP (*Internet Protocol*), permitindo a convergência de computadores, dispositivos eletrónicos e tecnologias de informação. Tenciona alcançar velocidades de acesso entre 100 Mbps em movimento e 5 Gbps em repouso, mantendo uma elevada qualidade de serviço e alta segurança para permitir oferecer serviços de qualquer tipo, a qualquer momento e em qualquer lugar.

Fundamentalmente o 4G pretende incorporar as melhorias prometidas para o 3G, nomeadamente no vídeo multimédia, acesso universal e portabilidade através de qualquer tipo de dispositivos, isto é, alcançar uma plataforma que preveja o *roaming* em todo o mundo (TELES, 2007).

Desde Dezembro de 2011 que as principais operadoras móveis portuguesas disponibilizam comercialmente 4G em Portugal com suporte em WiMAX e LTE.

Wimax

O *WorldWide Interoperability Microwave Access* é o termo adotado pelo WiMAX Forum que promove a tecnologia IEEE 802.16. Esta foi concebida para promover a compatibilidade e interoperabilidade¹ entre equipamentos e oferecer ligação para uso doméstico, empresarial e em *hotspots*.

O fundamento das redes WiMAX é semelhante ao das redes Wi-Fi, mas com um alcance muito maior.

O WiMAX é operado nas frequências entre 2.5 GHz, 3.5 GHz ou 5.8 GHz e pode alcançar velocidades de transferência na ordem dos 75 Mbps para distâncias de 50 km. Com as próximas atualizações pretende chegar à marca de 1 Gbps.

Os equipamentos WiMAX variam consoante a sua normalização mas podem ser divididos em três grupos:

1. Equipamentos exteriores de acesso residencial e/ou empresarial de banda larga sem fios, comparado ao xDSL e Wi-Fi.
2. Equipamentos da classe dos portáteis para o acesso a redes sem fios de banda larga, nomeadamente PDA's ou computadores portáteis.
3. Equipamento de acesso, do tipo móvel, à rede de banda larga sem fios.

Wi-Fi

O termo *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) identifica uma rede sem fios, certificada para funcionar com as normas IEEE 802.11b, 802.11g ou 802.11n. As diferenças entre estas encontram-se esquematizadas na Tabela 3.3.

¹Interoperabilidade é a capacidade de um sistema de comunicar de forma transparente com outro sistema (semelhante ou não).

Tabela 3.3: Normas atuais de Wi-Fi (TELES, 2007).

	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g	IEEE 802.11n
Gama de Frequência	2.4 GHz	5 GHz	5 GHz
Débito Máximo (Mbps)	54	54	65 a 3 metros e 300 para 10 metros
Canais Simultâneos	3	12	-
Alcance Máximo (m)	27	12	10

Existem ainda os standards do IEEE 802.11(d,j,i), que permitem melhorias e aumento de compatibilidade relativamente às normas atuais Wi-Fi. Exemplo disto é a especificação 802.11j, para os países onde os standards atuais não poderem ser aplicados, caso do Japão.

Uma rede Wi-Fi funciona com dois tipos de interligação:

1. Infraestrutura: o utilizador liga-se através de uma estação de base (designada por *Access Point* - AP);
2. Ad-Hoc: o utilizador conecta-se a outro utilizador.

Podem-se encontrar redes Wi-Fi com diferentes tipos de segurança:

1. Sem proteção: funcionando em modo *broadcast*, sem utilização de qualquer palavra-chave de segurança, opção a evitar;
2. Com uma proteção básica: utilizando uma WEP (*Wired Equivalent Privacy*) fixa de 40 a 128 bits - esta opção é muito usual em ambientes domésticos ou PME's;
3. Proteção Avançada: sistema de gestão dinâmica de chaves e da norma IEEE 802.1x com *Extensible Authentication Protocol* (EAP) (certificados digitais), *Wi-Fi Protect Access* (WPA) e WPA2. É tipicamente utilizada pelos operadores ou fornecedores de serviços de redes sem fios e o emprego de WPA e WPA2 por clientes domésticos está a crescer fortemente.

Ultra Wide Band

Ultra Wide Band (UWB) ou banda ultra larga, de nome técnico 802.15.3, usa uma largura de banda maior de 500 MHz. É uma tecnologia de rede sem fios geralmente utilizada nas conhecidas *Personal Area Network* (PAN), isto é, utilizando aparelhos sem fios próximos do utilizador, exemplo disso, impressoras, ratos e teclados com 10 metros de distância no máximo.

Esta tecnologia foi idealizada para transmissão de alta velocidade e o foco do UWB é influenciar a eletrónica de consumo, permitindo, por exemplo, aplicações como a televisão de alta definição. Utilizando um impulso muito curto e pouca potência para a transmissão de informação, opera a débitos de 110 Mbps aos 10 metros e 480 Mbps para distâncias de 1 metro.

3.1.4 Comparação de tecnologias

Apresenta-se na Tabela 3.4, um resumo das principais características das tecnologias anteriormente expostas.

Tabela 3.4: Resumo das tecnologias de suporte de rede (TELES, 2007).

Tecnologia	Meio	Mobilidade	Velocidade (bps)	Alcance Máximo	Segurança	Mercado Alvo
Cabo Coaxial	Cabo Coaxial	Baixa	10 M <i>upload</i> e 27 M <i>download</i>	Depende do cabo utilizado	Alta	Pequenos negócios Residencial
xDSL	Fio de Cobre	Baixa	50 M <i>download</i> e 12 M de <i>upload</i>	5,4 km, depende fortemente do es- tado dos fios	Alta	Pequenos negócios Residencial
PONs	Fibra Ótica	Baixa	2,4 G	20 km	Alta	PME Empresarial Residencial
PLC	Rede Elétrica	Baixa	5-6 M	6 km	Média	PME Empresarial Residencial Institucional
ATM, Ethernet	Cabos, fibra	Baixa	622 M 10 M, 10 G	1-100 km	Alta	PME Empresarial Residencial Institucional
GPRS	Ar	Alta	40 k até 144 k	Dependente dos obstáculos	Média	Utilizadores móveis
LTE	Ar (1.4 a 20 MHz)	Alta	100 M <i>download</i> e 50 M de <i>upload</i>	Dependente dos obstáculos	Média	Utilizadores móveis
4G	Ar	Alta	100 M em movi- mento e 5 G em repouso	Dependente dos obstáculos	Média	Utilizadores móveis
Wi-Fi (802.11g)	Ar (2.4-5 GHz)	Média	54 M	100 metros	WEP WPA WPA2 EAP outros	Utilizadores móveis Eletrónica de con- sumo
Wi-Fi (802.11n)	Ar (2.4-5 GHz)	Média	300 M	100 metros	WEP WPA WPA2 EAP outros	Utilizadores móveis Eletrónica de con- sumo
Bluetooth	2.5-6 e 10-66 GHz	Média	1, 3 ou 24 M	10 metros	Alta	Utilizadores móveis Eletrónica de con- sumo
WiMAX (802.16)	<11 GHz	Alta (802.16e)	75 M	6 a 10 km	Alta	Utilizadores móveis Eletrónica de con- sumo Residencial PME Empresarial

3.2 Algoritmos genéticos

Os Algoritmos Genéticos (AGs) foram concebidos pelo Prof. John Holland na Universidade de Michigan em 1975, ano em que publicou “*Adaption in Natural and Artificial Systems*”. David Goldberg, aluno de Holland, obteve o seu primeiro sucesso em aplicação industrial com AGs em 1989, aquando da sua publicação “*Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*”. Os AGs são procedimentos computacionais que imitam processos naturais de sobrevivência e reprodução das populações numa constante evolução. A teoria da evolução e a da seleção natural foram propostas por Charles Darwin em 1859, que explicou as observações realizadas a plantas e animais no seu habitat natural. Darwin observou que os indivíduos menos aptos tendem a morrer numa competição por comida, e que os sobreviventes levam ao melhoramento da espécie. O conceito de seleção natural foi usado para explicar como as espécies têm sido capazes de se adequarem às mudanças de ambiente e como, conseqüentemente, espécies que são muito idênticas em adaptabilidade conseguem, também elas, evoluir (POZO *et al.*, 2005; PINAKI, 1999).

Toda a informação necessária para a criação de traços de aparência e comportamentos de organismos vivos é contida nos seus cromossomas. A reprodução geralmente envolve dois pais. Os cromossomas dos filhos são gerados por porções de cromossomas de ambos os progenitores. Assim, o descendente herda uma combinação de características dos pais. Os AGs são utilizados em diversas áreas científicas, das quais se destaca a aplicação na otimização de problemas, aprendizagem de máquinas, robótica, desenvolvimento de estratégias e fórmulas matemáticas, análise de modelos económicos, problemas de engenharia, aplicações na Biologia como simulações de baterias, ecossistemas, entre muitos outros. O objetivo dos AGs é descobrir uma solução ótima para o problema, mas como estes utilizam procedimentos heurísticos não é garantido que o ótimo seja encontrado, contudo experiências têm mostrado que estes algoritmos são capazes de descobrir boas soluções para os mais diversos dilemas (POZO *et al.*, 2005; PINAKI, 1999).

Os AGs trabalham com uma população de indivíduos que representam possíveis soluções, que irá evoluir a cada nova geração. O valor de aptidão é associado a cada indivíduo e o seu cálculo varia com o problema. Para cada nova geração, indivíduos da população são selecionados para a reprodução. Os escolhidos são submetidos ao operador cruzamento (*crossover*) para gerar novos indivíduos. Estes recém nascidos podem, de seguida, ser sujeitos ao operador de mutação com determinada probabilidade de mutação. Os novos indivíduos podem substituir os antigos na totalidade da população com o evoluir das gerações.

Cada indivíduo na população é denominado de *string* ou cromossoma, analogamente ao sistema natural. Geralmente estes indivíduos são codificados em cromossomas binários, e cada carácter ou símbolo do cromossoma é designado de gene. Ou seja, os AGs trabalham com uma população de indivíduos, cada um com o seu cromossoma característico, onde estão os genes que o identificam, podendo ser mais ou menos apto para determinado problema. O tamanho da população determina a quantidade de informação guardada pelo AG.

O ponto de partida para a aplicação de um algoritmo genético como instrumento para resolução de problemas é a representação destes de forma a que os AGs passem a trabalhar como uma sequência de *bits* característicos dos atributos de cada indivíduo. Algo que também é bastante usual é a codificação, empregando o próprio alfabeto do

atributo que se quer exibir (letra, códigos, números reais, etc) para assim representar um individuo (POZO *et al.*, 2005). São no entanto possíveis diversas outras formas, sendo que normalmente a mais adequada está fortemente interligada ao tipo de problema em questão.

3.2.1 Função de aptidão

Uma avaliação de aptidão é feita para determinar a capacidade de cada indivíduo da população em solucionar o problema. Esta é a componente mais importante de qualquer algoritmo genético. É através desta função que se mede quão próximo um individuo está da solução desejada ou quão boa é a solução analisada.

É portanto essencial que esta função seja bastante representativa e diferencie na proporção correta as boas das más soluções. Se houver pouca precisão na avaliação corre-se o risco de uma ótima solução poder ser descartada durante a execução do algoritmo, para além de gastar mais tempo na geração de um maior número de soluções menos promissoras.

3.2.2 Seleção

Existem vários métodos para selecionar os indivíduos sobre os quais serão aplicados os operadores genéticos, como por exemplo, seleção por roleta, seleção universal estocástica e seleção por torneio.

O método de roleta é uma forma de seleção proporcional de cada individuo da população. A probabilidade de escolha de um individuo é proporcional ao seu índice de aptidão. Assim, para indivíduos com alta aptidão é dada uma proporção maior da roleta, enquanto que aos indivíduos com aptidão mais baixa é dada uma porção relativamente menor. Um possível esquema do método de roleta está ilustrado na Figura 3.1.

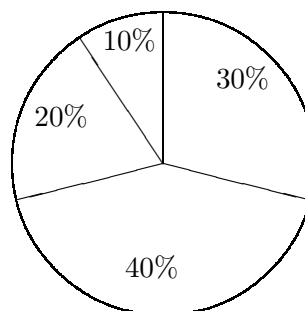


Figura 3.1: Método de seleção por roleta. Baseado em POZO *et al.* (2005)

Na seleção por torneio, n indivíduos são apanhados aleatoriamente formando um grupo ou sub-população e o melhor individuo é selecionado desse grupo.

O objetivo dos AGs é convergir para uma solução ótima, e a pressão de seleção (*selection pressure*) é a força condutora que determina a taxa de convergência. Uma pressão de seleção alta culmina numa rápida convergência da população. A seleção por roleta, tipicamente, fornece pressões de seleção mais elevadas na geração inicial, especialmente quando poucos indivíduos têm significativamente valor de aptidão mais alto que os outros. A seleção por torneio fornece mais pressão de seleção nas gerações

adiante quando o valores de aptidão dos indivíduos não são significativamente diferentes (PINAKI, 1999).

3.2.3 Cruzamento

Uma vez selecionados dois cromossomas, o operador cruzamento é usado para gerar dois descendentes. O cruzamento de genes pode ser feito num único ponto, cruzamento de ponto único, ou em dois ou mais pontos, sendo assim designado de cruzamento de multi ponto. A escolha do ponto de cruzamento é aleatória mas limitada ao comprimento do cromossoma, isto é, a posição de cruzamento está entre 1 e $(L - 1)$, onde L é o comprimento o cromossoma. Por exemplo, num cruzamento de ponto único, o primeiro descendente contém os genes do primeiro progenitor até ao ponto de cruzamento e a segunda parte dos genes do segundo progenitor depois do ponto de cruzamento. Um exemplo de cruzamento de ponto único é ilustrado na Figura 3.2.

Progenitor 1:	1	0	0		1	1	1
Progenitor 2:	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>		<u>1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
Descendente 1:	1	0	0		<u>1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
Descendente 2:	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>		1	1	1

Figura 3.2: Cruzamento de ponto único.

O desempenho de um algoritmo genético depende fortemente do desempenho do operador cruzamento utilizado. A quantidade de cruzamentos é controlada pela probabilidade de cruzamento, que é normalmente definida pelo rácio de descendentes gerados em cada nova geração sobre a população total. Uma elevada probabilidade de cruzamento permite explorar um maior espaço de soluções e reduz as hipóteses de obter um ótimo falso. Uma probabilidade baixa permite explorar os indivíduos existentes na população que tenham alto valor de aptidão (PINAKI, 1999).

3.2.4 Mutação

Num cromossoma em código binário, como o exemplo da Figura 3.2, a mutação pode ser feita pela inversão de um *bit*, enquanto que num cromossoma não binário, a mutação envolve a geração aleatória de uma novo carácter da posição selecionada, Figura 3.3.

Antes da mutação:	1	0	1	<u>0</u>	0
Depois da mutação:	1	0	1	<u>1</u>	0

Figura 3.3: Operador de mutação de ponto único.

Em AGs, a mutação serve de regra crucial de reposição de genes perdidos da população durante o processo de seleção, que podem tentar a sua sorte num novo contexto, ou fornecendo um novo valor genético que não estava presente na população inicial. Considerando o caso particular em que se tem uma população de cromossomas binários e em que todos os genes têm o valor zero, então nesta situação apenas a operação de cruzamento não é suficiente para o melhoramento da solução porque esta é apenas um mecanismo de heranças das características, genes, existentes na população. O operador

cruzamento não consegue criar num cromossoma um gene com valor unitário, uma vez que todos os progenitores contêm valores nulos. Sem o operador mutação o algoritmo não teria maneira de encontrar a melhor solução para qualquer problema.

A probabilidade de mutação é definida como probabilidade de frequência de mutação de cada gene. Isto controla a taxa a que um novo gene é introduzido na população. Se este for demasiado baixo, muitos genes que são úteis nunca serão descartados. Se por outro lado for muito elevado irá ocorrer exagerada perturbação e os descendentes irão perder as semelhanças com os criadores. A habilidade do algoritmo em aprender com os mais “velhos” irá, por conseguinte, ser perdida.

À semelhança do operador de cruzamento, a mutação pode ser concretizada num único ponto, sendo assim designada de mutação de ponto único, ou em várias posições, mutação multi ponto. A escolha da posição de mutação é sempre aleatória (PINAKI, 1999).

3.2.5 Critérios de paragem

O algoritmo genético entra assim num processo ciclicamente evolutivo e é necessário estabelecer uma meta, não ideal, para que este não fique infinitamente em execução. O principal critério é a deteção de uma solução ótima, mas como este cenário é muitas vezes hipotético, então outro critério usado é a limitação do tempo de execução. Este pode comprometer, em casos onde a taxa de evolução seja baixa, a descoberta de uma boa solução. Limitar o número de gerações é também outro item usado, bem como definir o valor de aptidão mínimo, médio ou máximo. Existem ainda critérios fundamentados no acompanhamento do próprio processo evolutivo, ou seja, enquanto for detetada evolução de aptidão dos indivíduos, o processo evolutivo prossegue. Caso não haja melhoras nas últimas gerações o processo converge e termina (POZO *et al.*, 2005).

3.3 Redes neuronais artificiais

A capacidade do ser humano para executar tarefas intrincadas e sobre tudo a habilidade de aprender resultam do processamento paralelo e distribuído da rede de neurónios do cérebro. A comunicação é efetuada por sinais nervosos elétricos e químicos descontinuadamente, ou seja, por impulsos. Estes são desencadeados em cada neurónio sempre que um certo potencial de ativação é atingido em consequência da receção de sinais. Os neurónios do córtex cerebral são responsáveis pelo processamento cognitivo. Uma nova experiência ou um novo conhecimento podem levar a alterações estruturais cerebrais (MOREIRA, 1997; FERNEDA, 2006).

As Redes Neuronais Artificiais (RNAs) são sistemas distribuídos constituídos de unidades simples de processamento de informação, chamadas de nodos ou neurónios, que interagem por meio de ligações com pesos distintos e computam funções matemáticas. De modo análogo ao sistema nervoso do ser humano, as redes neuronais apresentam características como a aptitude de aprender padrões complexos de dados a partir de exemplos, e por isso têm vindo a ser aplicadas no reconhecimento de padrões, ajuste de funções, modelos de previsão, entre outras diversas áreas (FIORIN/MARTINS/SCHUCH, 2011; CARLOS/PERERA/CARLOS, 2009).

Cada unidade simples na rede neuronal é denominada de nó ou nodo. Estes estão arrançados numa ou mais camadas e interligados por meio de inúmeras ligações, vulgar-

mente unidirecionais, designadas *sinapses*. A estas ligações estão associados multiplicadores, intitulados de pesos sinápticos ou simplesmente pesos, que são responsáveis pela ponderação das entradas de cada nodo. Os nodos atuam em etapas discretas, similarmente a uma função de dois estágios: primeiramente contabilizam-se todos os sinais de entrada, atribuindo pesos aos sinais; e de seguida, aplica-se à soma dos sinais de entrada uma função de saída, designada de função de ativação². A Figura 3.4 ilustra o modelo de neurónio artificial usado nas RNAs.

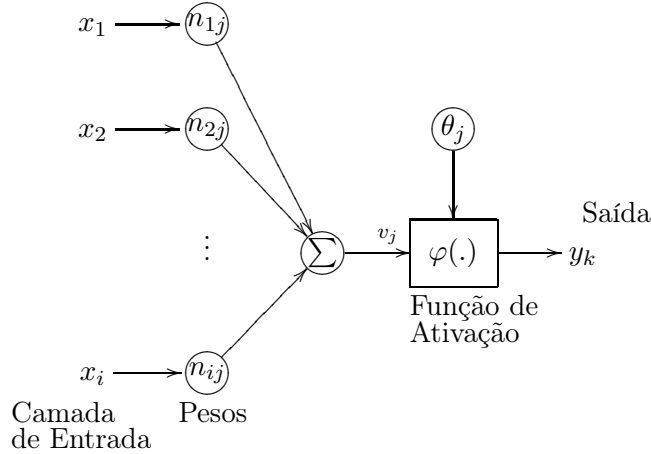


Figura 3.4: Modelo de neurónio artificial.

A ativação da rede depende da força dos nodos de entrada com a sua respetiva pesagem. Por convenção é adicionado um nodo extra a cada camada, excetuando a camada de entrada. A este nodo é atribuída a designação de *bias* (θ_j), que tem a função de expandir ou reduzir a entrada da função de ativação (φ), dependendo se ele tiver sinal positivo ou negativo respetivamente, para ajustar o nível de atividade interna do neurónio (v_j). Os pesos da rede podem ser representados em termos das ligações nodais. Assim, o peso w_{ij} liga os nodos n_j^m e n_i^l com $m < l$, isto é n_i^m é o nodo de origem para n_j^l . Contudo é geralmente mais conveniente considerar os pesos como um vetor de pesos w onde são agrupados todos os pesos da rede, W . Deste modo cada peso passa a ser denominado de w_i com $1 \leq i \leq W$.

O número de nodos nas camadas de entrada e saída são determinados pelo tamanho do padrão ou objetivo a reter do problema. Para cada nodo não pertencente à camada de entrada, como anteriormente referido, o valor de saída é dado pela soma pesada:

$$v_{i,j}^l = \sum_{i=1}^W w_{ij} x_i + \theta_j \quad (3.1)$$

$$y_k^l = \varphi(v_{i,j}^l) \quad (3.2)$$

A função de ativação serve para restringir o intervalo permitido de amplitude do sinal de saída de um neurónio a um valor finito. Existem diversas funções propostas, e de entre as mais conhecidas e usuais encontram-se as funções degrau ou limiar (Equação 3.3 e 3.4) e as sigmóides, subdividas em logística (Equação 3.5) e tangente hiperbólica (Equações 3.6). Estas funções estão ilustradas na Figura 3.5.

²Designado por *fitness function* na literatura anglo-saxónica.

Função limiar geral:

$$\varphi(v_j) = \begin{cases} +\gamma & \text{se } v_j \geq \alpha \\ -\gamma & \text{se } v_j < \alpha \end{cases} \quad (3.3)$$

Função limiar particular:

$$\varphi(v_j) = \begin{cases} +1 & \text{se } v_j \geq 0 \\ -1 & \text{se } v_j < 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

Função sigmóide logística:

$$\varphi(v_j) = \frac{1}{1 + e^{-v_j}} \quad (3.5)$$

Função sigmóide tangente hiperbólica:

$$\varphi(v_j) = \tanh(v_j) \quad (3.6)$$

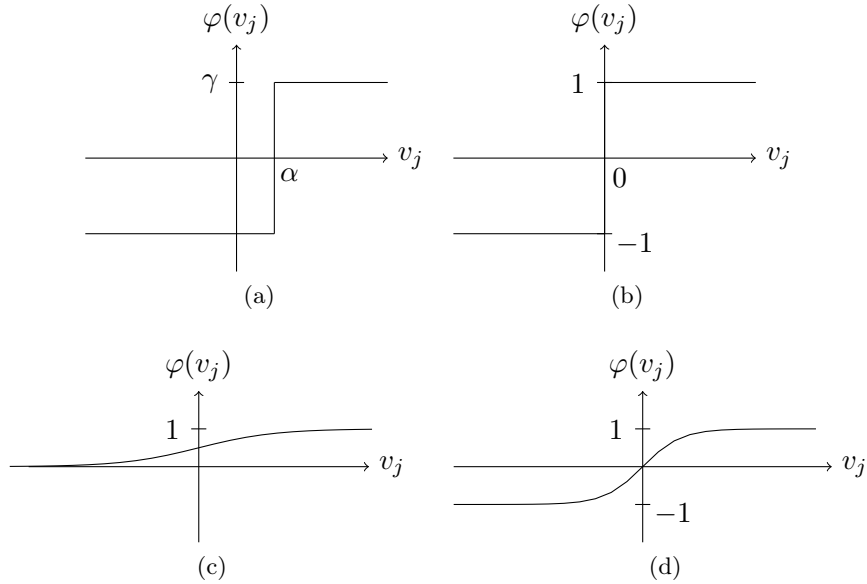


Figura 3.5: Representação gráfica de funções de ativação tipicamente utilizadas: (a) função limiar geral; (b) função limiar particular; (c) função sigmóide logística; (d) função sigmóide tangente hiperbólica.

Na escolha pela função limiar é frequente utilizar-se o caso particular, Figura 3.5b, em que $\gamma = 1$ e esta funciona assim num intervalo compreendido $[-1, 1]$, o mesmo que a função tangente hiperbólica. Alternativamente e também muito utilizada é a sigmóide, com um domínio de $[0, 1]$.

3.3.1 Arquiteturas RNAs

É essencial efetuar uma boa seleção da arquitetura mais adequada à rede e, esta escolha está relacionada com o género de problema que se pretende solucionar. Esta é definida por alguns parâmetros fulcrais: quantidade de neurónios e de camadas bem como de

neurónios por camada, tipo de ligações entre nodos, topologia da rede e método de aprendizagem.

Existem redes constituídas por neurónios escondidos e periféricos que se denominam por redes planares. Os periféricos podem ser agrupados em neurónios de entrada e de saída e a sua disposição pode ou não estar arranjada por camadas. Sempre que as respostas dos neurónios de uma RNA são de 0/1, -1/0 ou -1/+1, denominam-se de redes binárias. RNAs com neurónios binários são conhecidas por redes *McCulloch-Pitts* (MOREIRA, 1997).

As RNAs planares podem ser compostas por três tipos de camadas organizadas paralelamente. A primeira e a última camada são denominadas camada de entrada e camada de saída, respetivamente. Todas as camadas entre estas são camadas intermédias ou também intitulados por camadas escondidas. A camada de entrada é responsável pelas variáveis de entrada da rede, enquanto que a camada de saída, como o próprio nome indica, representa os resultados finais do processamento.

Alguns autores, na contagem do número de camadas, ignoram muitas vezes a camada de entrada porque apenas recebe e distribui dados, não realizando nenhuma operação matemática. Isto é, estes autores consideram uma rede constituída por uma camada de entrada, uma escondida e uma de saída, uma rede de 2 camadas. Deste modo a camada de entrada será sempre numerada como camada $l = 0$.

Os tipos de arquiteturas mais utilizadas são as seguintes (SANTOS/AZEVEDO, 2005):

- **Redes totalmente conectadas** (Figura 3.6a) - Cada nodo da rede está ligado a todos os outros existentes na mesma;
- **Redes de camada única** (Figura 3.6b) - Detêm apenas a camada de entrada e saída. Os nodos são independentes uns dos outros podendo ser treinados separadamente.
- **Redes multi camada** (Figura 3.6c) - Constituídas por diversas camadas dispostas paralelamente.

3.3.2 *Perceptrons* de múltiplas camadas

Perceptrons de múltiplas camadas (MLPs) são a classe de redes neuronais mais utilizada. Muita da popularidade dos MPLs é atribuída ao facto de que estes têm sido aplicados, com sucesso, a uma vasta gama de tarefas de processamento de informação, incluindo classificação de padrões, funções de aprendizagem e previsão de séries temporais. Aplicações práticas para MPLs têm sido encontradas em diversas áreas como reconhecimento de voz, compressão de imagem, diagnósticos médicos, controlo autónomo de veículos, previsões financeiras, entre outros. Novas aplicações vão sendo descobertas e postas em prática com o passar do tempo (ADRIAN J. SHEPHERD, 1997).

A arquitetura de um MPL consiste em unidades ou nodos organizados em duas ou mais camadas, como exemplifica a Figura 3.6c. O número de camadas e de nodos escondidos tem grande impacto na aprendizagem de um MPL: quando são muito poucos, a rede não será capaz de aprender o problema; pelo contrário, quando excessivos a rede pode levar imenso tempo no seu treino.

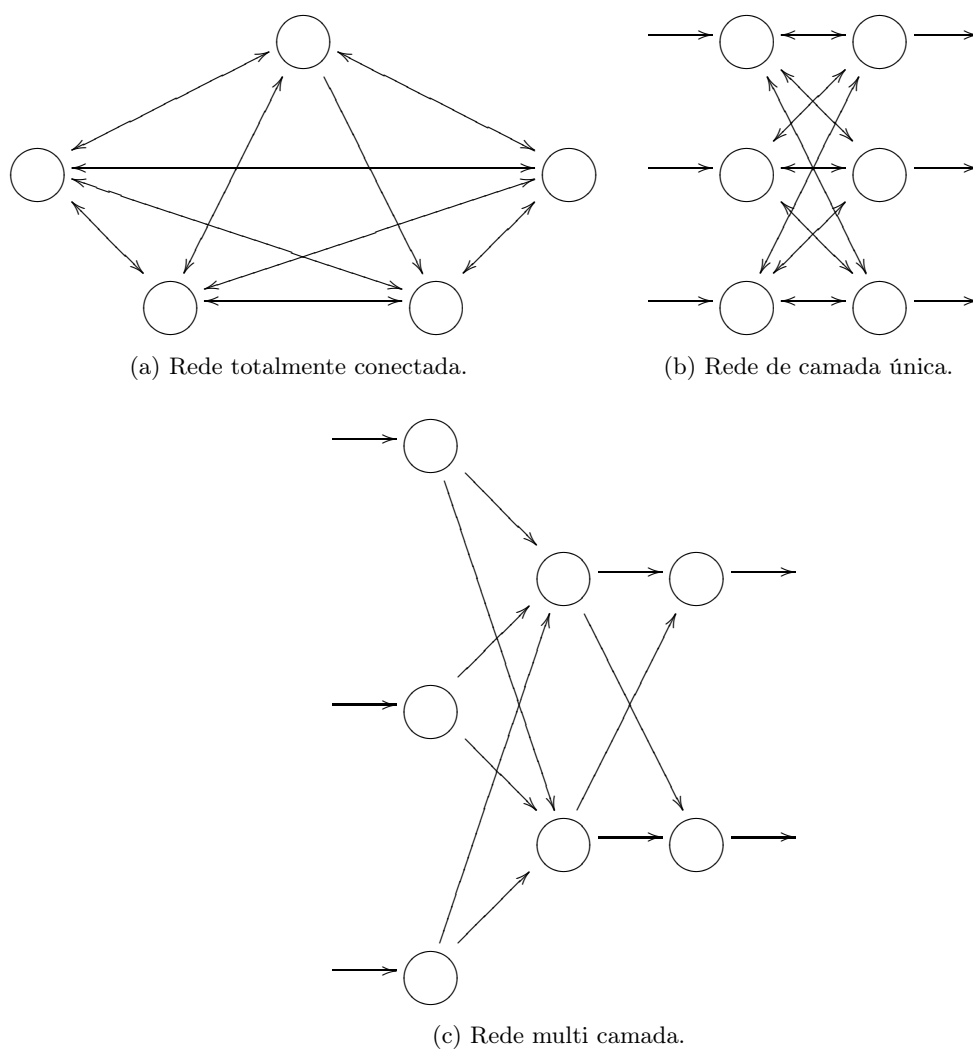


Figura 3.6: Esquema de arquiteturas de redes tipicamente utilizadas. Adaptado de SANTOS/AZEVEDO (2005).

3.3.3 Escolha da topologia para a rede

O modo como os neurónios se interligam na estrutura da rede é denominado por topologia. Em geral são representados por duas categorias principais:

- *Feed forward*: neste tipo de rede as ligações são unidirecionais ou acíclicas e não existem ligações entre neurónios da mesma camada nem para camadas anteriores.
- Recorrentes: este tipo de rede possui ciclos de realimentação, isto é, a saída de um neurónio pode servir de entrada para um nodo de uma mesma camada ou de uma camada anterior.

Alguns autores, como Huang and Huang (1991), têm desenvolvido estudos no sentido de apurar qual a quantidade ótima de nodos e camadas escondidas, mas estas são ainda muito difíceis de determinar (ADRIAN J. SHEPHERD, 1997). Assim e até então, a melhor maneira é construir diferentes modelos, com diferentes funções de ativação, métodos de treinamento, números de camadas e neurónios com o intuito de avaliar a combinação que melhor atente aos requisitos estabelecidos para o problema. Trata-se de um típico processo de tentativa-erro. Procura-se encontrar um compromisso entre a flexibilidade e a rigidez da RNA. A rede não deve ser excessivamente flexível a ponto de modelar o ruído dos dados e nem demasiadamente rígida de maneira a não modelar credivelmente a informação. É frequente utilizar-se abordagem *hill climbing* que começa com uma solução inicial arbitrária e tenta encontrar a melhor solução, de forma incremental, alterando um pequeno elemento da solução. Por outras palavras, o treino começa com uma quantidade superdimensionada de neurónios e, gradualmente, vão sendo retirados aqueles com ligações mais fracas, valores de pesos mais baixos.

3.3.4 Modelos de aprendizagem

Num processo de aprendizagem o objetivo é aumentar o conhecimento através da experiência. Os modelos de aprendizagem das redes neuronais são classificados em dois grandes métodos fundamentais: aqueles que se enquadram na aprendizagem supervisionada e os que, pelo contrário, se encaixam na que não é supervisionada.

Aprendizagem supervisionada

Uma rede neuronal artificial com supervisão tem a priori conhecimento das respostas corretas correspondentes ao conjunto dos dados de entrada. Se as duas respostas coincidirem ($x_i = y_i$), então não há necessidade de se modificar os pesos. Caso contrário, a diferença entre os dois valores é utilizada para alterar o peso das ligações existentes na rede. Pretende-se, com o treino, encontrar os pesos e os desvios das diversas ligações e neurónios que melhor contribuem para que a rede modele adequadamente a solução final para o problema. Alguns algoritmos utilizados em aprendizagem supervisionada são:

- (i) *Perceptrons* não necessitam de muitos parâmetros a ajustar e o padrão de entrada não precisa de pré-processamento elaborado. Só é aplicável a padrões não muito complexos (SANTOS/AZEVEDO, 2005);
- (ii) Modelo *Widrow-Hoff* (ou método do gradiente aplicado em redes neuronais lineares) também conhecido por modelo *Least Mean Square* (LMS) ou regra Delta;

- (iii) Retropropagação³ constitui uma generalização da anterior regra a redes lineares ou não lineares e com pelo menos uma camada intermédia;
- (iv) Método do gradiente e seus aperfeiçoamentos. Salienta-se a existência de práticas destinadas a melhorar a convergência deste método tais como do momento e da técnica da taxa adaptativa de aprendizagem (MOREIRA, 1997);
- (v) Aprendizagem utilizando o método de *Levenberg-Marquardt* aplicável a redes não lineares;
- (vi) Técnicas heurísticas, por exemplo, os algoritmos evolutivos⁴ (algoritmos genéticos, ver secção 3.2).

Aprendizagem não supervisionada

Nestas redes a aprendizagem é realizada sem se conhecerem ou disporem antecipadamente os valores de saída, nem possíveis classificadores. Este método de aprendizagem é essencialmente aplicado em sistemas de memória associativa e de reconhecimento de padrões. O ensino da rede acontece com a deteção de regularidades e relações nos valores de entrada. Alguns algoritmos usados em redes em aprendizagem sem supervisão são:

- (i) Algoritmos de aprendizagem associativa⁵, como por exemplo as regras de *Hebb*, *Instar*, *Outstar*, *Hopfield* e Máquina de *Boltzmann*;
- (ii) Aprendizagem competitiva tais como a regra de *Kohonen* (MOREIRA, 1997).

³Designado por *backpropagation* na literatura anglo-saxónica.

⁴*Evolutionary algorithms*, na terminologia inglesa.

⁵*Associative learning algorithm*, na terminologia inglesa.

Capítulo 4

Conceção

Neste capítulo são apresentadas as diferentes arquiteturas de ligação propostas para a execução do presente trabalho. É ilustrada a arquitetura global de ligação das entidades envolvidas no sistema, o esquema de ligações para troca de dados onde se insere o software proposto e a estrutura do mesmo.

4.1 Arquitetura do sistema

A arquitetura proposta pretende facilitar o modo de interação entre as entidades integradas em *smart grids*, com vista a melhor gerir as trocas energéticas existentes na rede. Neste âmbito, a Figura 4.1 apresenta um esquema que ilustra a forma como as entidades se relacionam. O sistema engloba vários distribuidores e consumidores, sendo que ambos

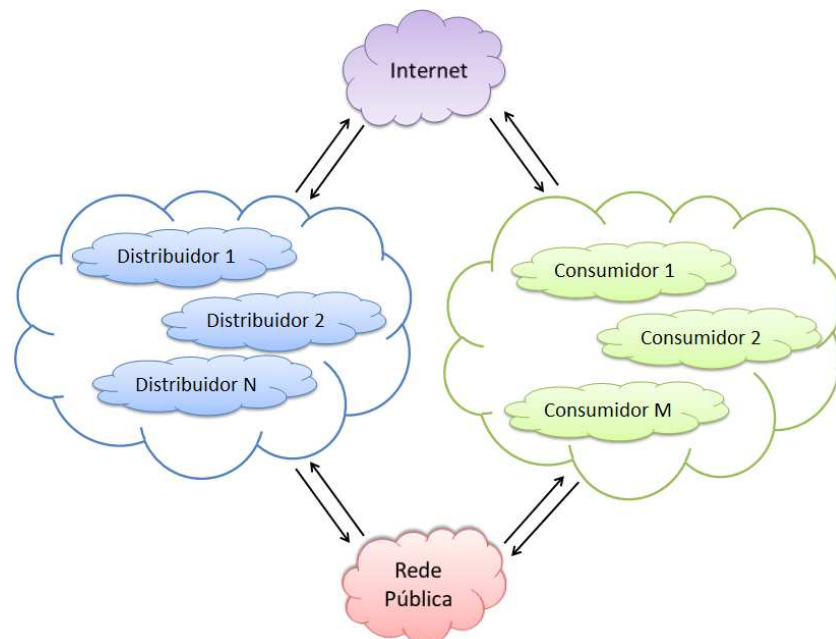


Figura 4.1: Arquitetura de ligação entre entidades.

estão ligados à internet e à rede elétrica pública, mas por diferentes infraestruturas. A energia elétrica é transferida pelas infraestruturas elétricas da rede pública e a troca de informação é efetuada pela internet. Na Figura 4.2 é exposto um diagrama das ligações necessárias para efetuar a troca de dados. Estão representados um “Consumidor M” e um “Distribuidor N” genéricos que estão ligados a uma base de dados central por intermédio de uma plataforma computacional (por exemplo). A plataforma computacional, quando utilizada por distribuidores, destina-se para supervisionamento do sistema, gerir as negociações dos seus clientes e controlar os serviços oferecidos (tarifas e potências para contratar). Por sua vez, quando usufruída pelos consumidores serve para registar todas as trocas de energia efetuadas e comunicar com o sistema global onde estão ligados todos os consumidores e distribuidores. Televisão, impressora ou micro-ondas são alguns

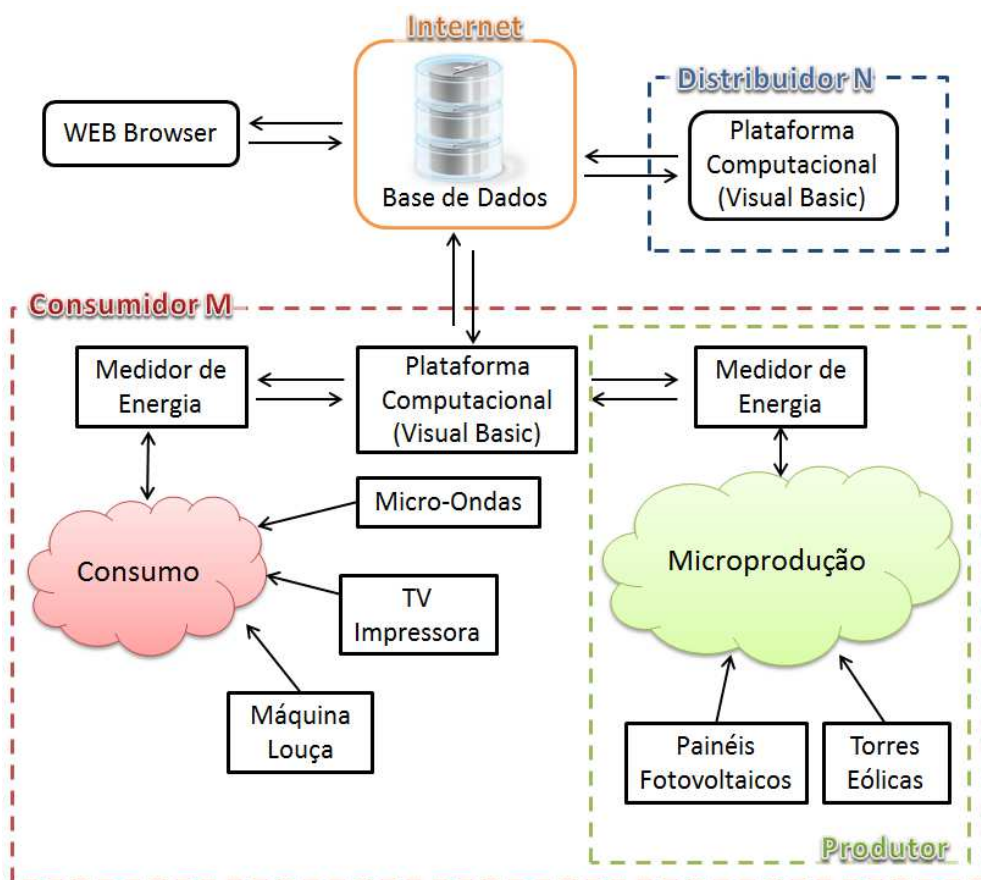


Figura 4.2: Esquema de ligações para transferência de dados.

exemplos de consumos que um utilizador pode estar a gastar, ilustrados na Figura 4.2. Um consumidor que possui uma pequena central de produção de energia elétrica é considerado um produtor. Em qualquer um dos casos, seja produtor ou apenas consumidor, para monitorizar os seus consumos e/ou produções precisa de algum medidor de energia que, por sua vez, comunica com o centro de controlo local.

Este é o conceito de sistema explorado no presente trabalho. O software de apoio à decisão proposto insere-se nas plataformas computacionais representadas, com o objetivo de monitorizar, gerir e aconselhar os utilizadores sobre o uso de energia elétrica.

4.2 Arquitetura do software proposto

É elevada a importância de tratar devidamente todos os dados adquiridos de modo a obter boas conclusões. Assim, o software foi estruturado e subdividido em várias extensões separadas, em dois grupos, como expressa a Figura 4.3. Para o consumidor estão atribuídas extensões como monitorização, planeamento e análise de consumos e negociação de energia, sendo que estas serão apresentadas e desenvolvidas em detalhe no Capítulo 5. São destinadas aos distribuidores as extensões de monitorização, gestão de energia e serviços, sendo que a monitorização corresponde à que é feita pelos consumidores. A extensão denominada de serviços representa onde os distribuidores disponibilizam e mantêm atualizadas as tarifas e potências para os utilizadores subscriverem. O software precisa de permanente ligação com a base de dados central, acessível na internet, onde está guardada toda informação.

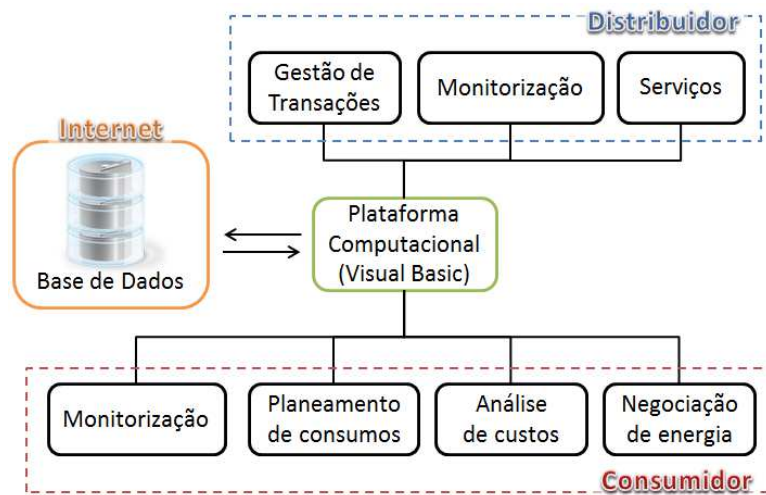


Figura 4.3: Esquema da arquitetura do software.

Para o presente trabalho foi desenvolvido o grupo de extensões destinado ao consumidor que será pormenorizado no Capítulo 5.

Capítulo 5

Implementação

O presente capítulo versa sobre a implementação do software proposto. Serão descritos, de forma clara e objetiva, todos os processos utilizados na construção do software, bem como, aspectos relativos às tecnologias adotadas, sobre a estrutura utilizada na negociação e processamento de informação e ainda sobre os dados a processar. Para além da descrição dos processos, será estudada e justificada a importância das diferentes variáveis utilizadas para alimentar as diversas etapas do presente trabalho.

O desenvolvimento do software foi estruturado em 5 fases distintas. Na primeira fase foi definida toda a estrutura da base de dados que guardará a densa informação recolhida. Na segunda fase foi feito o módulo de monitorização, isto é, a comunicação entre os medidores de energia e o software. Na terceira fase efetuou-se a implementação do módulo de cálculo da tarifa mais apropriada ao perfil de cada consumidor. Na penúltima fase foi criado o módulo de planeamento dos consumos do utilizador, com a utilização de redes neuronais e algoritmos genéticos. Na última fase foram agrupadas todas as ferramentas criadas nas fases anteriores, construindo uma interface para melhorar a interação entre o utilizador e o software, ainda com a possibilidade de negociação de pacotes de energia. Para efeito de estrutura do presente capítulo e de um melhor entendimento, a interface (última fase) é apresentada e explicada em simultâneo com a descrição das fases anteriores.

5.1 Descrição da proposta

Este trabalho visa a criação de um software de apoio à decisão, denominado *Clean Energy Meter* (CEM), que monitorize a produção conseguida e os consumos pretendidos, que possibilite a negociação de pacotes de energia entre utilizadores do sistema, envolvendo a compra e a venda, ou pedidos e doações. Pretende-se com este sistema determinar a melhor tarifa disponível, bem como, o melhor horário para os consumos previstos, analisando os dados recolhidos sobre os consumos e as produções.

O sistema proposto implica a ativa participação por parte dos distribuidores, entidades que comercializam energia elétrica, e dos consumidores, ou seja, são ambos parte integrante do sistema. A Figura 5.1 esquematiza o modo como estes se interligam. Esta

ilustra um distribuidor e um produtor, denominado de consumidor porque qualquer utilizador é necessariamente consumidor podendo ou não ser produtor. Salienta-se que o consumidor representado na Figura 5.1 é apenas simbólico, podendo este ser visto como uma habitação, empresa, instituição ou indústria. É igualmente válida a interpretação e inserção no sistema. Nesta proposta, as trocas de energia são efetuadas pela utilização das infraestruturas da rede pública enquanto que as trocas de informação são via internet. Todos os dados/registos são guardados numa base de dados acessível pela internet.

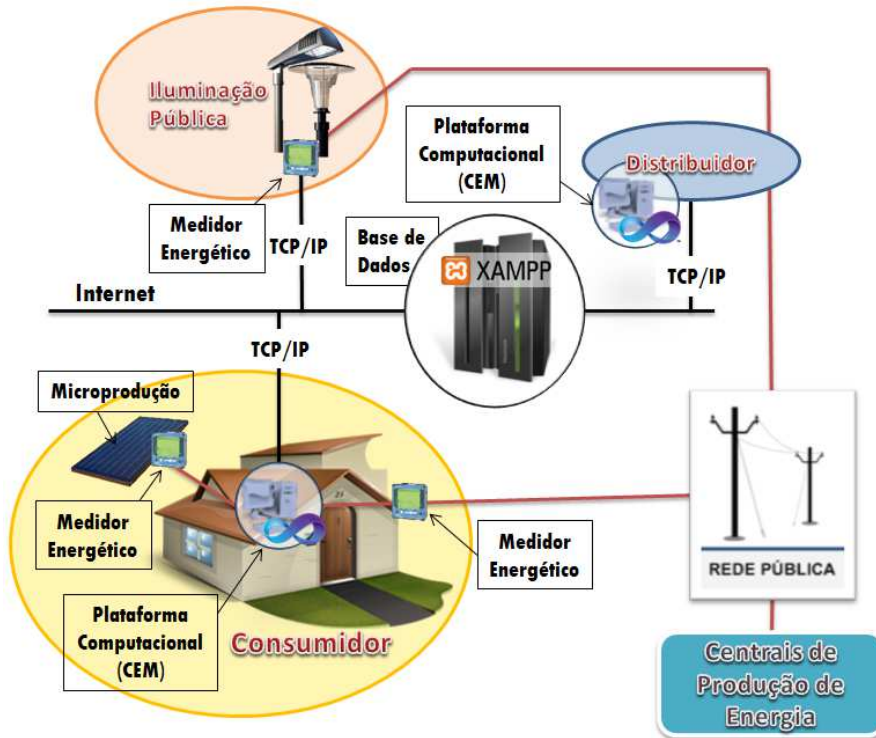


Figura 5.1: Esquema do sistema proposto.

Monitorização e controlo

Este sistema implica necessariamente a utilização de medidores de energia para a monitorização tanto de consumos como de produções energéticas, ilustrado na Figura 5.1. Ou seja, no caso de não ser produtor necessita apenas de um medidor para monitorizar os consumos de energia. No caso de ser também um produtor necessita de outro medidor. O número de medidores necessários destinados a monitorização da produção é proporcional ao número de fontes de micro ou miniprodução que o produtor possui. Por exemplo, se este possui uma produção fotovoltaica e uma eólica, necessita de dois medidores para monitorização de produção e outro para os consumos, num total de três medidores de energia. No sistema existe uma plataforma computacional, por exemplo um computador, onde se encontra o software de apoio à decisão (CEM), desenvolvido para o presente trabalho.

Planeamento de Consumos

Todos os medidores de energia que os consumidores possuem estão ligados a esta plataforma. O CEM comunica com todos os medidores de energia e guarda a informação recolhida numa base de dados acessível remotamente. Neste software, estão ainda incluídas ferramentas que permitem analisar os dados de modo a apoiar as decisões do consumidor. O CEM visa aconselhar o consumidor na escolha da tarifa e potência a contratar que melhor se ajustam ao seu perfil. Visa ainda planear os consumos do utilizador para horários oportunos considerando uma prévia estimativa de produção, utilizando para isso redes neurais e algoritmos genéticos.

Para o sistema ficar completo, os distribuidores têm fulcral importância na utilização do software. É com este que as entidades comercializadoras vão atualizando as tarifas e potências que pretendem disponibilizar aos clientes, gerindo todos os contratos e transações que a eles estão associadas.

O software terá ainda a possibilidade de efetuar negociação de pacotes de energia. Qualquer produtor pode dar diferentes usos à sua produção, como por exemplo vender à rede ou a outro consumidor, ou responder ao pedido de um outro através de doação. A possibilidade de pedir energia assenta na eventualidade do consumo previsto pelo consumidor poder exceder as suas disponibilidades financeiras, por exemplo, organizações não-governamentais, lares, hospitais, bairros sociais, entre outros. Estas transmissões energéticas, doações e vendas são efetuadas através da infraestrutura elétrica do distribuidor, que tem de as autorizar previamente.

5.2 Base de dados

Uma base de dados é o local onde os dados são armazenados. Estas existem, normalmente, para ajudar a melhorar o desempenho da organização ou sistema à qual se destinam. A relação entre a base de dados e o sistema pode ser tal que o bom ou mau funcionamento desta influenciará diretamente os resultados e desempenho obtidos. Assim, uma base de dados tem que ser implementada de acordo com as necessidades da organização (DAMAS, 2005). O gestor de base de dados escolhido foi o MySQL e esta foi protegida com fortes palavras-chave e permissões apenas para as entidades pretendidas para ao acesso. Para evitar problemas como a perda ou redundância de informação, foi criada uma base de dados segundo o processo de normalização *Boyce-Codd*. Isto possibilita melhorar a desempenho do sistema, evitando a informação excessiva.

Foi elaborado um Diagrama de Entidade-Associação (DEA) com o objetivo de representar claramente as entidades necessárias para o sistema e a forma como estas se relacionam entre si. O diagrama está ilustrado na Figura 5.2. Nos parágrafos seguintes são apresentados e justificados os atributos associados a cada entidade já tendo em conta as relação do DEA.

O software de apoio à decisão, CEM, suporta vários tipos de utilizadores e só permite a sua utilização se este estiver inserido no sistema. Assim, tem-se necessariamente uma entidade denominada *User* na qual estão registados todos os utilizadores do sistema, consumidores e distribuidores. Esta contém os dados necessários para permitir o acesso aos utilizadores, Tabela 5.1. Os atributos que se encontram sublinhados a negrito são os definidos como chave primária. No atributo *id type* é onde está a distinção entre um

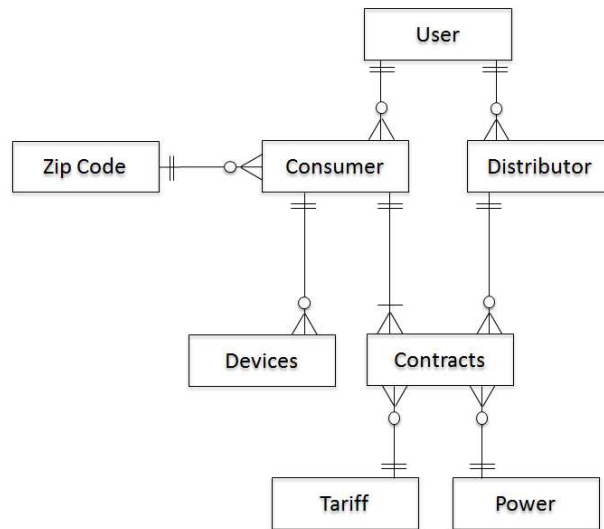


Figura 5.2: DEA da base de dados para o sistema proposto.

consumidor e um distribuidor (DST - distribuidor e U - consumidor).

User (**Id**, Password, Status login, Id type)

Tabela 5.1: Exemplos da entidade “users”.

Id	Password	Status login	Id type
15	* * * * *	0	U_10
16	* * * * *	1	DST_2
17	* * * * *	1	U_14

Os consumidores e distribuidores têm ambos perfis distintos, tendo então a necessidade de criar uma entidade diferente para ambos, denominadas *consumer* e *distributor* respetivamente.

Consumer (**Id**, Name, Surname, Fullname, Address, Zip code, Id User, Email, Type consumer, Genere, N.device)

Distributor (**Id**, Label, Description)

Como os consumidores estão localizados em diferentes regiões do país, de modo a simplificar o processo de localização destes, optou-se por ter no perfil do cliente o seu código postal. Este código identifica univocamente a localidade a que o consumidor está associado. Para evitar repetições na entrada das localidades, criou-se uma entidade denominada *Zip Code* que irá conter todos os códigos postais e as respetivas localidades do país. Na tabela *Consumer* passam a existir apenas as referências aos códigos, obtendo-se a respetiva localidade na tabela *Zip Code*.

Zip code (Code, Location)

Cada medidor de energia pode estar associado a qualquer utilizador e sendo assim, na entidade *Devices* estão identificados todos os medidores que estão no sistema. Esta entidade contém o estado e os parâmetros de comunicação do medidor e o seu titular. Na tabela 5.2 são apresentados alguns exemplos desta entidade.

Devices (Id, Label, Status, IP, Port, Type, Id Consumer)

Tabela 5.2: Exemplo da tabela “devices”.

ID	Label	Status	IP	Port	Type	Id Consumer
154	Solar	1	energia.mec.ua.pt	502	Production	101
155	Iluminação	0	193.137.172.23	502	Consumption	101

Os parâmetros elétricos recolhidos dos medidores de energia diferem entre cada medidor e todos os dados devem ser guardados. Assim, cada medidor tem a sua própria tabela, em que o nome varia consoante a identificação do respetivo medidor. Ou seja, para o medidor com *id* = 154 a entidade que lhe corresponde é *consumer_d154*. A escolha dos parâmetros que constam nestas entidades será abordada na secção 5.4.

Consumer_d154 (Datetime, Voltage, Current, RealPower, ApparentPower, Temperature, Humidity)

Cada consumidor pode ter vários contratos de energia com um distribuidor, nomeadamente de consumo e produção, com uma tarifa e potência contratadas associadas. É necessário saber a data de início e o termino do contrato. Assim, é preciso uma entidade que contenha todos os contratos que os consumidores têm, denominada *Contracts*. Contudo, existem diversas potências e tarifas possíveis de se contratar que variam com o distribuidor. Por esse motivo foram também criadas as entidades *Power* e *Tariff*, para as potências e tarifas a contratar, respetivamente.

Tariff (Id, Price, Time start, Time end)

Power (Id, Power, Price)

Contracts (Id Consumer, Type, Id Power, Id Tariff, Id Consumer, Id Distributor, Start, End, Status)

Relativamente à negociação de pacotes de energia, um novo DEA foi elaborado para melhor organizar a informação guardada, Figura 5.3. Qualquer consumidor, registado no sistema CEM, pode fazer múltiplas compras, vendas, pedidos ou doações de pacotes de energia. No entanto, o CEM limita a possibilidade de venda e doação apenas a consumidores que também sejam produtores. Para cada uma destas transações é associado obrigatoriamente apenas um consumidor. Há ainda dois casos relacionais particulares de salientar entre *Purchase-Sell* e *Request-Donate*. Estas situações apresentam ambas uma relação de 1:1, isto é, no caso entre *Purchase-Sell*, a uma compra existe necessariamente uma venda, mas a uma venda pode não coexistir obrigatoriamente uma compra, no caso de esta não estar concluída. O mesmo raciocínio é feito na relação entre *Request-Donate*.

Assim, o conjunto de atributos associados a cada entidade são os seguintes:

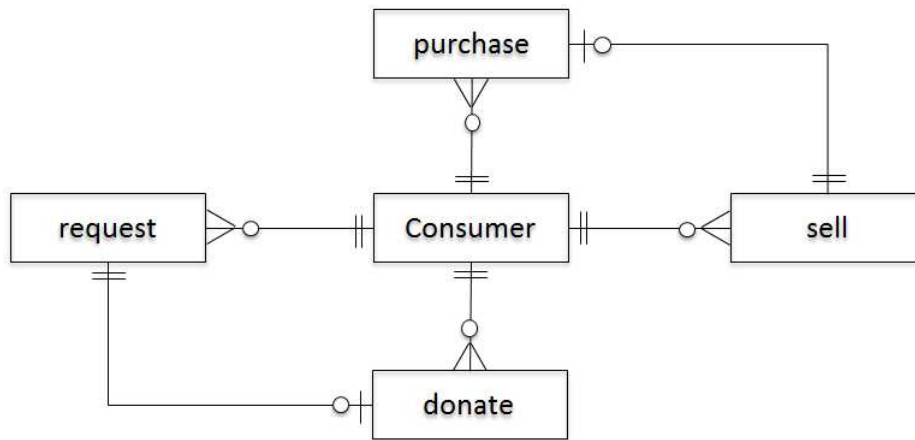


Figura 5.3: DEA para negociação de pacotes de energia.

Sell	(<u>Id</u> , Power, Price, DateTime, Id consumer seller, Authorization)
Purchase	(<u>Id Sell</u> , Id consumer buyer, Authorization, DateTime)
Request	(<u>Id</u> , Power, DateTime, Id consumer requester, Authorization)
Donate	(<u>Id Request</u> , Id consumer donater, Authorization, DateTime)

5.3 Clean Energy Meter

Como já mencionado, o núcleo da presente dissertação é o desenvolvimento de um software de apoio à decisão. Este encontra-se em permanente execução numa plataforma computacional, por exemplo um computador, onde estão ligados os medidores de energia do consumidor. Este inicia com uma janela de *login*, Figura 5.4. É nesta etapa que o programa distingue o utilizador como consumidor ou distribuidor, dependendo das credenciais introduzidas.



Figura 5.4: Janela inicial de *login* do CEM.

No caso de as credenciais serem válidas o acesso é permitido e o CEM de imediato apresenta o ecrã principal do software para o respetivo utilizador. A Figura 5.5 apresenta o ecrã principal para um consumidor/produtor.



Figura 5.5: Ecrã principal do CEM para um consumidor/produtor.

Nesta nova janela é possível desde logo confirmar o tipo de utilizador que tem sessão iniciada pelo título do ecrã, “*distributor*” ou “*user*”. Para além de um relógio digital, no canto superior direito, é possível visualizar os valores de produção e consumo atuais. Sempre que o CEM mantenha alguma comunicação ativa com um qualquer medidor de energia, estes campos de contagem permanecem em contante atualização. Na parte inferior da janela estão cinco botões que correspondem a ecrãs criados para diferentes funcionalidades: configurações do utilizador e do sistema; visualização dos consumos e das produções; análise de custos para determinar a tarifa e potência mais ajustadas; planeamento de consumos; e negociação de pacotes de energia.

No presente trabalho apenas a interface gráfica destinada ao consumidor/produtor foi desenvolvida e implementada. Assim, nas secções seguintes o termo “utilizador” pretende referir-se a um consumidor, como utilizador do CEM.

5.4 Aquisição de dados

Como referido anteriormente, o CEM contém uma janela dedicada à visualização e edição das configurações do utilizador. Na Figura 5.6 está ilustrado este ecrã de configuração. Este está dividido em quatro secções onde se incluem os dados do perfil do utilizador (*User Profile*), a informação do contrato vigente (*Contract Profile*), a parametrização dos medidores de energia (*Device Configuration*) e uma área para controlar e verificar o estado de ligação dos equipamentos individualmente (*Active/Desactive Devices*). É dada a possibilidade, ao utilizador do CEM, de alterar as informações do seu perfil. Para isso é apenas preciso premir o botão *Change Profile* e os campos ficam de ativos e suscetíveis a alterações do seu conteúdo. Na área do contrato é possível confirmar o fornecedor à qual o utilizador tem ligação contratual de fornecimento de energia e a potência que está atualmente contratada. A parametrização das ligações ou medidores são definidas nas seguintes áreas. O utilizador deve definir o número de medidores que tem instalados e inserir os parâmetros relativos aos mesmos nesta área. A Figura 5.6 apresenta três medidores mas esta quantidade é alterável no campo “*No. Devices*” depois de premido o botão *Change Settings*. Esta alteração é acompanhada pela a adição ou remoção dos campos relativos ao equipamento. O incremento ou decréscimo de equipamentos é sequencial. A área seguinte permite ativar ou desativar a comunicação dos medidores individualmente. A *combo-box* “*Device*” contém os medidores previamente definidos e após a seleção de algum é apresentado o estado atual da comunicação do CEM com esse medidor. No caso de ser apresentada uma lâmpada acesa a comunicação encontra-se ativa e em correto funcionamento, caso seja apresentado um ponto de exclamação encarnado o medidor não está a comunicar com o software.

Os equipamentos medidores homologados, nos termos de Decreto-Lei n.º 118-A/2010 de 25 de Outubro e Decreto-Lei n.º 34/2011 de 8 de Março, constam numa lista disponível no Portal Renováveis na Hora¹. Para a execução do presente trabalho e da solução proposta foi usado o *Janitza Umg 604*², Figura 5.7a, por ser um medidor energético que se encontrava disponível no Laboratório de Sistemas Remotos (LSM) do Departamento de Engenharia Mecânica (DEM). Estes são usados para medir grandezas energéticas, quer de consumo quer de produção, ou seja, serve para recolher informação elétrica em tempo real. Inicialmente foi estabelecida comunicação via RS-232 uma vez que o equipamento assim o permitia. Contudo foram ponderadas as vantagens em usar RS-232 ou *ethernet*, concluindo que a velocidade de transmissão de dados da *ethernet* é significativamente mais elevada e devido à massificação da internet e ao uso do protocolo TCP/IP, esta tecnologia é tratada como uma banalidade. Num cenário de instalação, estender um cabo *ethernet* ficará menos dispendioso comparando com a possibilidade de haver necessidade de adquirir conversores RS232 para ligar os medidores energéticos às plataformas computacionais. Uma vez que o equipamento disponibilizado permite a ligação *ethernet*, então a mudança foi posta em prática.

A cada medidor de energia é atribuído um endereço IP que serve como própria identificação para estabelecer comunicação e efetuar a troca de informação com o software desenvolvido. Cada medidor energético está ligado a uma plataforma computacional, Figura 5.1. O medidor energético utilizado permite usar vários protocolos. Foi então escolhido o *Modbus/TCP* como protocolo de comunicação a utilizar, que usa a porta 502

¹Consultar em <http://www.renovaveisnahora.pt/>.

²Consultar o endereço <http://www.janitza.com/products/energy-measurement/umg-604/>.

The screenshot displays a web application window titled "CEM > My Configurations". It is divided into three main sections: "User Profile", "Contract Profile", and "Device Configuration".

User Profile: Mr. Fernando Pintas

- User ID: 1
- Name: Fernando
- Surname: Pintas
- Full Name: Fernando Alberto da Fonseca Pintas
- Address: Porto
- User type: Producer (dropdown)
- Email: fa.fp@yahoo.com
- Confirm Email: (empty)
- Pass: (masked with dots)
- Confirm Pass: (empty)
- Change Profile button

Contract Profile

- Client ID: 0000001
- ID Trader: EDP - Energias de Portugal
- Contract Power: 6,9 kVAh

Device Configuration

- No. Devices: 3
- Change Settings button
- Device 1**
 - IP: 193.137.172.23
 - Port: 502
 - Type: Production (dropdown)
 - Label Devices: Solar
- Device 2**
 - IP: energia.mec.ua.pt
 - Port: 502
 - Type: Production (dropdown)
 - Label Devices: Eólica
- Device 3**
 - IP: energia.mec.ua.pt
 - Port: 502
 - Type: Consumption (dropdown)
 - Label Devices: Luz

Active/Desactive Devices

- Device: Solar (dropdown)
- Status: (lightbulb icon)
- Desactivate button

Figura 5.6: Ecrã de configurações do utilizador.

por defeito. Este protocolo é uma variante do *Modbus* usado para ligação sobre redes *TCP/IP*. Este não requer o cálculo dos *bytes* de verificação de mensagem, *checksum*, uma vez que já fornece essa proteção. O género de mensagem a enviar para o equipamento está ilustrada na Figura 5.7b, bem como uma possível resposta. As memórias de todas as variáveis calculadas pelo analisador de energia encontram-se listadas em “Modbus Address List”³. A mensagem utilizada neste protocolo tem um comprimento máximo de menos de 300 *bytes* (MODBUS ORGANIZATION, 2012; REAL TIME AUTOMATION, 2009). Deste modo, a gama de posições de memórias solicitada vai desde a 1317 até à 1439.

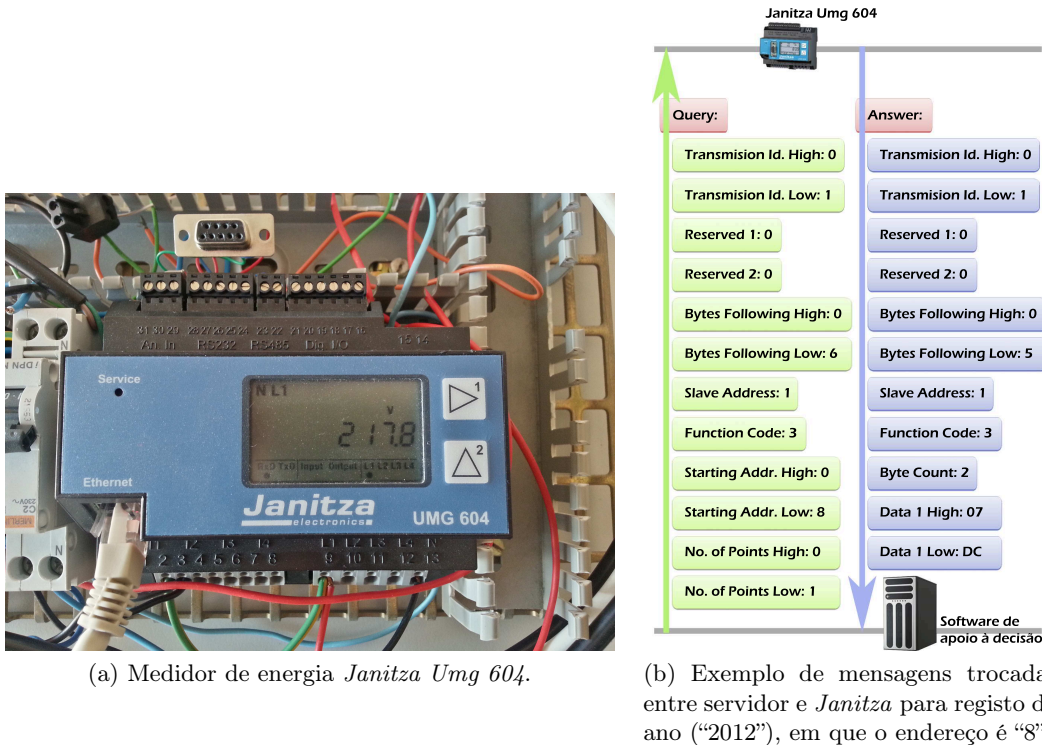


Figura 5.7: Medidor de energia e estrutura de mensagem para aquisição de dados.

Nesta gama de memórias selecionada estão incluídos parâmetros elétricos, tais como, tensões, correntes, potências reais, aparentes e reativas, fator de potência, frequência, entre outras. A mensagem é recebida em formato hexadecimal e é no software convertida para o formato correspondente, decimal ou flutuante, conforme o tipo de variável. Esta informação, do tipo de variável, está detalhada na lista de endereços anteriormente referida. De todas estas variáveis disponíveis, apenas a potência real, potência aparente, tensão e intensidade de corrente são registadas na base de dados. Esta seleção foi tida após a leitura detalhada dos Decreto-Lei n.º 118-A/2010 de 25 de Outubro e Decreto-Lei n.º 34/2011 de 8 de Março. A potência aparente é necessária para verificar se a potência contratada é adequada, enquanto que a potência real serve para a monitorização dos consumos efetuados ou produções conseguidas.

Para o desenvolvimento e avaliação da comunicação com o medidor foi criada uma aplicação em *Visual Basic* (VB), sendo dividida em duas secções (Figura 5.8). A primeira

³Lista de endereços para comunicação Modbus para o Janitza Umg 604, disponibilizada pelo fabricante.

apenas envia uma mensagem, pedindo uma única posição de memória e, em caso de envio bem sucedido, recebe a respetiva resposta. Após a receção é possível visualizar as mensagens que foram trocadas entre o medidor e a aplicação, bem como, a interpretação da mensagem recebida. Este cenário está ilustrado na Figura 5.8a.

A segunda secção ocupa-se com os pedidos e receção de respostas consecutivas, isto é, fica continuamente a fazer aquisição de dados com uma frequência previamente definida. Depois da descodificação da informação, esta é atualizada nos locais de visualização. Um exemplo é mostrado na Figura 5.8b.

Desta feita, está assim estruturada e implementada a comunicação. Deste modo já é possível recolher, dos parâmetros que o medidor de energia calcula, todos aqueles que se pretende obter para posterior análise.

Além destes últimos parâmetros descritos, também a temperatura e a humidade são recolhidas e registadas. Todos estes parâmetros são obtidos e inseridos na base de dados com intervalos de um minuto (parametrizável), na tabela da base de dados respetiva de cada medidor. Os parâmetros meteorológicos, temperatura e humidade, são conseguidos utilizando o serviço *web* “*Global Weather*” disponível em *WebServiceX.NET*⁴. Este serviço permite utilizar a mensagem segundo o protocolo SOAP (*Simple Object Access Protocol*) para o CEM enviar pedidos ao servidor da *WebServiceX.NET*. Descriminando o país e a cidade pretendida, como Beja-Portugal, é possível obter o estado atual do tempo a partir do seguinte endereço:

Exemplo:

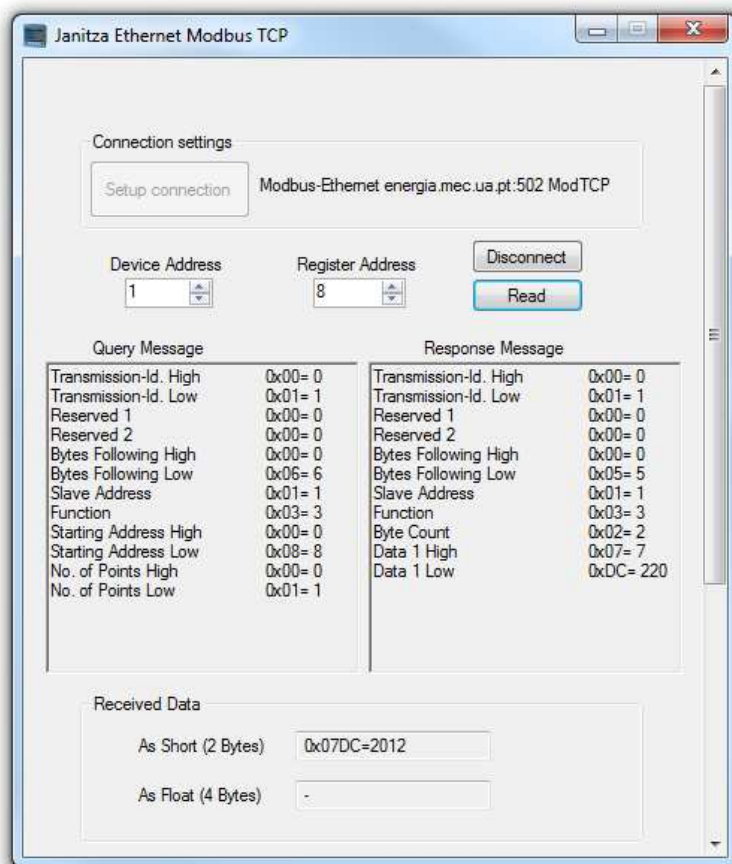
```
http://www.webservicex.net/globalweather.asmx/GetWeather?  
CityName=Beja&CountryName=Portugal
```

Esta aplicação (Figura 5.8) comunica apenas com um equipamento. O CEM procede e trata as mensagens da mesma maneira, a diferença a salientar está no facto de que no CEM este processo de comunicação é replicado para os diferentes medidores. Estas ligações são ainda executadas em tarefas independentes (em paralelo) de modo a não condicionar o funcionamento dos ecrãs visíveis.

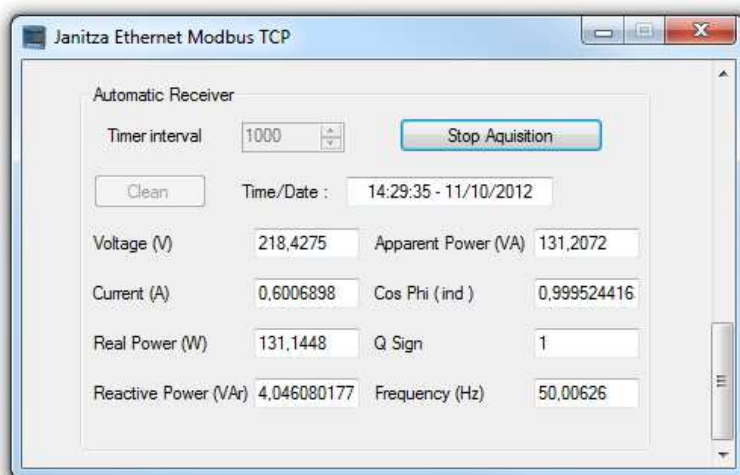
5.5 Monitorização

Os dados por si só não têm qualquer significado, necessitam de algum processamento adicional para poderem ser interpretados e assim se tornarem, de alguma forma, úteis para a tomada de decisão. O botão designado *dash* que se encontra no CEM, Figura 5.5, permite abrir uma nova janela onde é possível visualizar os dados graficamente, apresentada na Figura 5.9a. Nesta, o utilizador pode seleccionar o período que pretende visualizar, em dias, e premir o botão *View* para ser representado esse período na área gráfica abaixo. Por defeito, aquando da abertura da janela, o CEM representa a produção e o consumo feitos nesse dia. Existe um painel de seleção lateral na margem esquerda da janela que se desloca com a passagem do cursor sobre o mesmo, Figura 5.9b. Neste é possível seleccionar cada medidor individualmente para visualizar os dados na área gráfica para o período selecionado. O eixo das ordenas está em watt e o das abcissas varia consoante o período selecionado. Mais abaixo da área gráfica é apresentado o total de produção e consumo, bem como a diferença entre eles em kWh. O tamanho da janela é ajustável para melhorar a visualização do gráfico.

⁴Descrito em: <http://www.webservicex.net/globalweather.asmx?WSDL>.

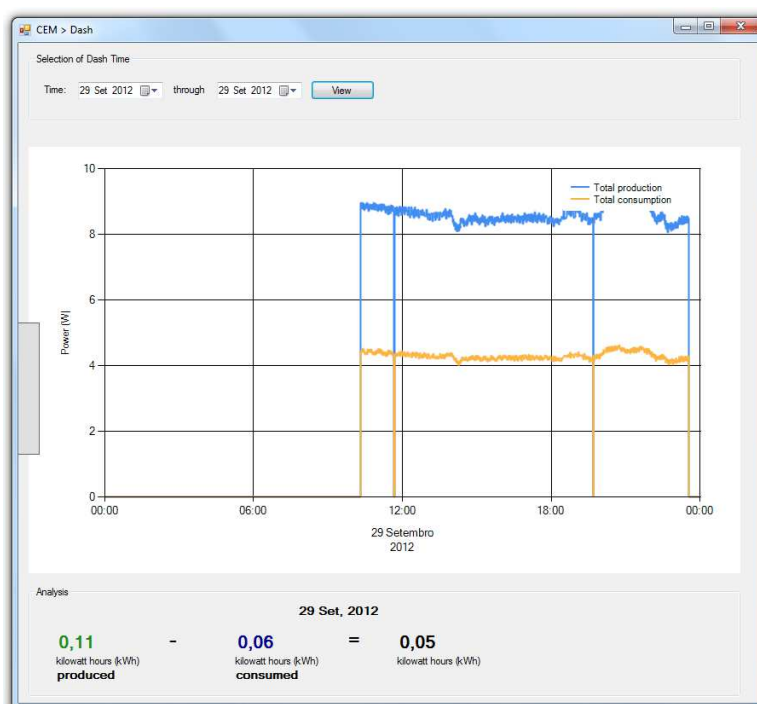


(a) Envio e receção de mensagem única.

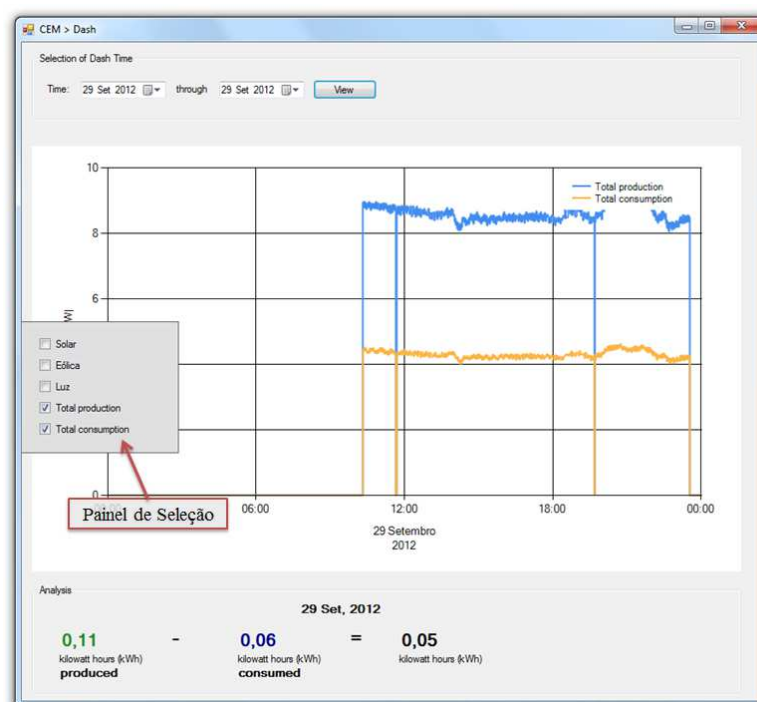


(b) Aquisição contínua de dados.

Figura 5.8: Aplicação em VB para estabelecer comunicação com medidor e recolher parâmetros da rede elétrica.



(a)



(b)

Figura 5.9: Ecrã de monitorização do CEM, *dash*.

5.6 Análise de custos

O botão *cost* presente no CEM, na Figura 5.5, abre uma janela onde o utilizador pode facilmente analisar a tarifa que melhor se ajusta ao seu perfil. A Figura 5.10 mostra o ecrã *cost*, onde é visível o contrato atual (tarifa, potência contratada e fornecedor associado) e também as tarifas e potências disponibilizadas pelos fornecedores.

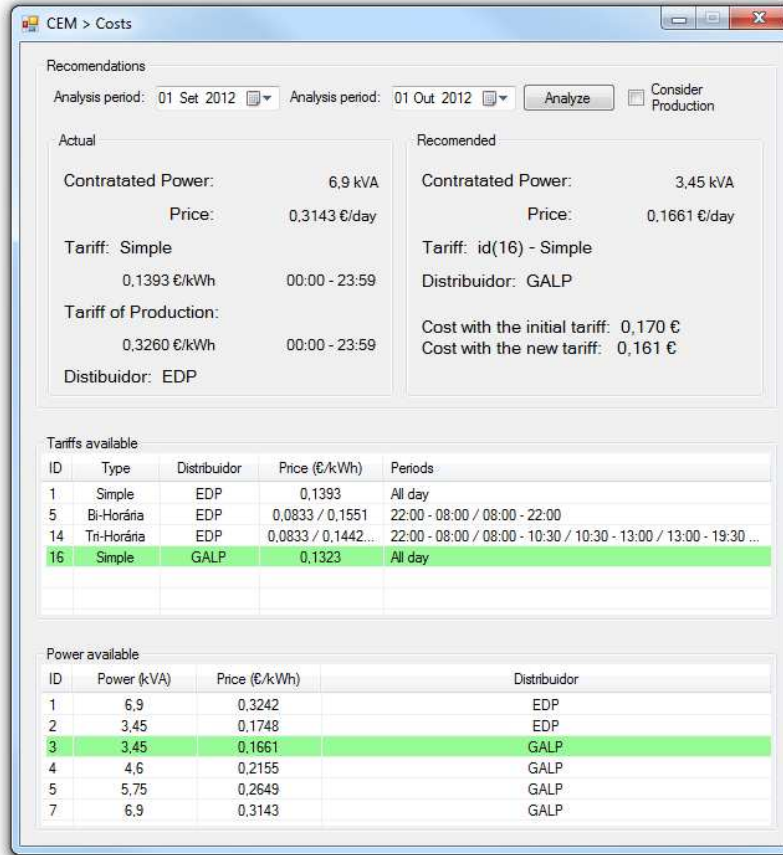


Figura 5.10: Ecrã para análise de custos.

Estando disponíveis na base de dados todas as tarifas vigentes, atualizadas pelas entidades comercializadoras, é possível estimar qual o tarifário mais apropriado ao consumo efetuado. Isto é, considera-se que o consumo histórico registado não terá grandes alterações no futuro quotidiano e deste modo, dos registos feitos, obtém-se o menor custo possível. Assumindo uma tarifa bi-horária como exemplo, $f^c(t)$ é o perfil de consumo pretendido para calcular, $P_{k,j}^c$ é o custo de energia para j período(s) por kWh, $\Delta t_j^c = (t_{j,end}^c - t_{j,start}^c)$ é o intervalo de tempo, em minutos, do(s) j período(s) e $C_{t,k}^c$ é o custo total de consumo calculado para a k tarifa, então:

$$C_{t,k}^c = P_{k,j}^c \int_{t_{j,start}^c}^{t_{j,end}^c} f^c(t) dt + P_{k,j+1}^c \int_{t_{j+1,start}^c}^{t_{j+1,end}^c} f^c(t) dt \quad (5.1)$$

com $k, j \in \mathbb{N}$. Se for um produtor tem também componente de produção e assim o custo

de produção $C_{t,k}^p$ é dado por:

$$C_{t,k}^p = P_{k,j}^p \int_{t_{j,start}^p}^{t_{j,end}^p} f^p(t) dt \quad (5.2)$$

em que $f^p(t)$ é o perfil de produção pretendido para calcular, $P_{k,j}^p$ é o custo de energia produzida para j período(s) por kWh e $\Delta t_j^p = (t_{j,end}^p - t_{j,start}^p)$ é o intervalo de tempo, em minutos. O valor de custo total ($C_{t,k}$) calculado de cada tarifa será a adição da despesa feita nos consumos ($C_{t,k}^c$) com a amortização do valor do custo de produção ($C_{t,k}^p$): $C_{t,k} = C_{t,k}^c - C_{t,k}^p$. A tarifa k onde $C_{t,k}$ é menor é a k tarifa em que, para o período de análise selecionado, o consumidor pagaria menos pelo consumo que efetuou.

Assim, o utilizador apenas tem de selecionar no ecrã o período que pretende usar para avaliar a tarifa mais barata ajustada a esse período. Ao premir o botão *Analyse*, o CEM procura o valor máximo de potência aparente registado na base de dados e sugere a que é menor, de entre as potências a contratar disponíveis, e a maior da máxima registada. Após esse procedimento ele irá determinar a tarifa que menores custos oferecerem ao consumidor, usando as equações 5.1 e 5.2. Este procedimento é feito apenas para as tarifas disponibilizadas pelo mesmo fornecedor da potência a contratar determinada anteriormente. Finalizado o processo, a tarifa e a potência determinadas são destacadas com uma cor diferente e são também apresentados os valores inerentes associados à tarifa e potência atuais e recomendadas.

5.7 Planeamento de consumos

Como objetivo proposto prevê-se que a CEM consiga analisar os consumos pretendidos e apresente o melhor horário para os efetuar. A solução proposta foi a utilização de uma rede neuronal artificial. As RNAs têm características de otimização, capacidade de generalização e adaptabilidade. Para esta solução prevê-se que o utilizador introduza os valores das diversas potências (C_k), sinónimo dos consumos que pretende efetuar, bem como, os limites horários que deseja impor a cada consumo (Δt_k) e ainda a duração efetiva do funcionamento ($\Delta C t_k$). Um esquema desta informação, fornecida pelo utilizador, é ilustrado na Figura 5.11.

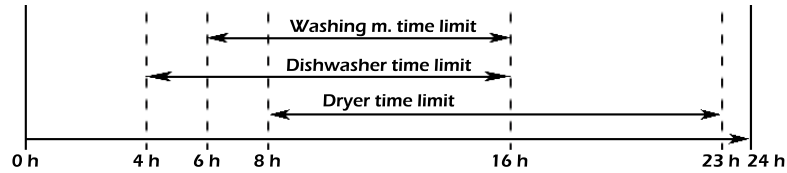


Figura 5.11: Exemplo de limites de tempos para funcionamento impostos pelo utilizador para diferentes tarefas. Baseado em MATAILLANAS *et al.* (2012).

O perfil de produção de energia prevista para o dia seguinte é uma escolha do utilizador: de entre os perfis historicamente guardados, o utilizador escolhe aquele que supõe que irá refletir a produção do próximo dia. A CEM disponibiliza uma série de perfis históricos contidos na base de dados. Esta seleção é feita com base na temperatura e humidade introduzidas pelo utilizador, ou seja, o programa faz uma procura pelos dias

na qual se tenham registado esses valores meteorológicos e apresenta esses dias como sugestão. Após a escolha do perfil, é criado um vetor de 1440 valores, um por cada minuto do dia. P_m é a potência de produção prevista. A fase seguinte é a integração destes dados no “cérebro” artificial.

Pretende-se com a RNA verificar e organizar os consumos de modo a que não se sobreponham, bem como, que estes não sejam agendados para horas em que se prevê que não haja produção suficiente. O benefício de uma boa gestão dos horários dos consumos energéticos é a significativa redução do valor final dos custo energéticos.

A estrutura para RNA proposta é composta por um número variável de neurónios que depende do número de tarefas (Figura 5.12). Assim, tem-se na camada de entrada $2K$ neurónios (com $x_{in} = \{t_{s,1}, \Delta Ct_1, t_{s,2}, \Delta Ct_2, \dots, t_{s,K}, \Delta Ct_K\}$ onde $t_s = \{t_{s,1}, t_{s,2}, \dots, t_{s,K}\}$ é o vetor com os valores iniciais dos horários dos consumos), a primeira e única camada escondida com $K + 1$ neurónios e a camada de saída com K neurónios, em que K é o número de consumos. A função de ativação escolhida foi a sigmóide logística⁵ uma vez que o seu domínio é sempre positivo. Desta estrutura neuronal retira-se um vetor de horários (t_c), $t_c = \{t_{c,1}, t_{c,2}, \dots, t_{c,K}\}$.

Para a aprendizagem da rede neuronal foi escolhido um método com supervisão, algoritmos genéticos. Uma vez que a gestão de consumos em questão pode ter, em alguns casos, várias soluções igualmente aceitáveis, e ainda parâmetros de entrada sempre diferentes, os algoritmos evolutivos foram os escolhidos para gerar as soluções desejadas. O AG serve para ir ajustando os pesos da RNA. Estes parâmetros não são mais do que o peso de cada ligação neuronal (w_{ij}), e as bias (θ_i) (explicado na secção 3.3). O evoluir da população de cromossomas é feito de acordo com uma função de aptidão. Os genes da primeira geração são concebidos aleatoriamente e as gerações seguintes são produzidas pela combinação de operadores de seleção, cruzamento e mutação (secções 3.2.2, 3.2.3 e 3.2.4, respetivamente). Os pesos das ligações bem como o valor das *bias* estão dentro dos seguintes intervalos: $w_{ij} \in [-5, 5]$ e $\theta_i \in [-5, 5]$. O cromossoma foi representado por um vetor de valores, genes, com uma ordem específica. O comprimento de cada cromossoma permanece inalterado com a evolução da população mas é distinto no caso de haver alteração do número de consumos. É então determinado da seguinte maneira:

$$N_{pesos} = 2K(K + 1) + (K + 1) + (K + 1)K + K$$

Deste modo, no caso de $K = 3$, então $N_{pesos} = 43$ genes que constituem um cromossoma. A população é constituída por dois indivíduos que vão sendo constantemente avaliados e caso se encontre algum indivíduo com valor de aptidão mais elevado, este irá substituir o menos competente. No operador cruzamento, a posição da operação é escolhida de forma aleatória e é feito cruzamento de ponto único. A mutação é igualmente de ponto único e executada com probabilidade de 100%. Uma percentagem tão elevada pode indiciar uma evolução para um grande caos, contudo o propósito é que haja uma vasta variedade de pesos na rede e não a preservação por todas as ligações, contribuindo para uma melhor reorganização dos consumos. Da criação de novos indivíduos, é feita a seleção dos dois melhores que irão tributar para a evolução da solução.

A função de aptidão para esta evolução subdivide-se em quatro outras funções: a FF_1^c que avalia a sobreposição dos horários reordenados, a FF_2^c que verifica se o consumo não vai exceder a produção, a FF_3^c que confirma se as saídas estão dentro dos limites impostos

⁵Consultar Equação 3.5 e Figura 3.5c.

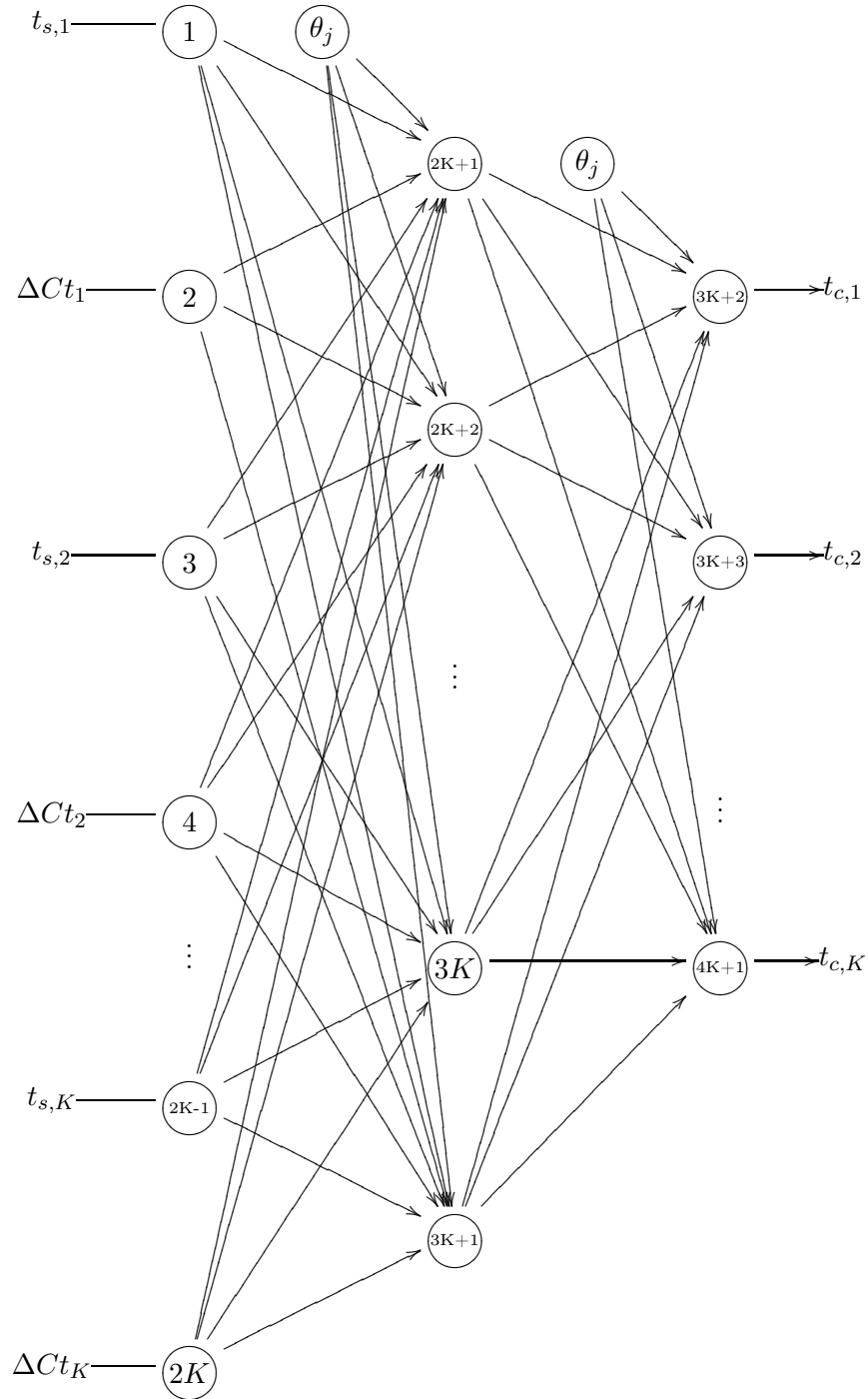


Figura 5.12: Estrutura MLP para organizar as tarefas. Baseado em MATAILLANAS *et al.* (2012).

pelo utilizador e a FF_4^c que certifica se no somatório dos consumos, já devidamente ordenados pela solução obtida, não excede a produção prevista.

$$FF_1^c = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^{K-1} \left(1 - \frac{\delta}{\Delta T} \right) \quad (5.3)$$

$$\text{com } \delta = \begin{cases} \delta & \text{se } \delta < \Delta T \\ \Delta T & \text{se } \delta \geq \Delta T \end{cases}$$

onde ΔT é a duração de todos os consumos efetivos e δ é a duração da sobreposição com outra tarefa.

$$FF_2^c = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \xi \quad (5.4)$$

$$\text{com } \xi = \begin{cases} 0 & \text{se } P_m - C_k \leq 0 \\ 1 & \text{se } P_m - C_k > 0 \end{cases}$$

onde P_m é o perfil de energia selecionado e C_k o consumo da k tarefa.

$$FF_3^c = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{\delta_k^{limit}}{\Delta t_k} \quad (5.5)$$

onde δ_k^{limit} é o tempo em que $t_{c,k}$ está coincidente com $\Delta C t_k$, ou seja, $\min(\Delta C t_k) \leq t_{c,k} \leq \max(\Delta C t_k)$.

$$FF_4^c = \begin{cases} \frac{\int_{t_0}^{t_1} \left(\frac{P_m(t)}{C_t(t)} \right) dt}{\Delta t} & \text{se } C_t(t) \geq P_m(t) \\ 1 & \text{se } C_t(t) < P_m(t) \end{cases} \quad (5.6)$$

onde C_t é o consumo total da solução obtida e $\Delta t = t_1 - t_0$ é o intervalo de tempo em que o consumo é superior à produção prevista.

O valor final de aptidão de um individuo (FF_{ind}^c) é obtido pela seguinte equação:

$$FF_{ind}^c = \frac{(FF_1^c + FF_2^c)FF_4^c + FF_3^c}{3} \quad (5.7)$$

Assim, se a aptidão de um determinado individuo da população for $FF_{ind}^c = 1$, mostra que todas as condições anteriormente descritas que estão a ser avaliadas, são verificadas. Considera-se que, neste caso, foi encontrada uma solução ótima. Se por outro lado o valor calculado for $FF_{ind}^c = 0$, indica que a solução é muito fraca pois não atinge qualquer uma das condições que se impõe para o fim procurado. É importante referir que um conjunto de parâmetros avaliado como solução ótima pode não ser necessariamente ideal se analisado com outras ou mais condições e pode não ser forçosamente a única solução ótima no contexto do problema mas é, certamente, uma delas.

É evidente que uma vez alcançado o valor máximo de aptidão, com uma margem de erro de 0.1% devido a arredondamentos inerentes à limitação do número de casas decimais, o processo evolutivo de aprendizagem da rede é, nesse momento, cessado. No caso deste valor não ser atingido, a evolução necessita de uma paragem forçada. Os

critério escolhidos foram: valor mínimo de aptidão de 70% e número máximo de gerações com um total de 10^K . Aquando do final do processo sem que uma solução ótima tenha sido encontrada, a procura é feita três vezes com os mesmos critérios de paragem. Se no decorrer dessas buscas continuar sem ser encontrada, o CEM apresenta a melhor das melhores soluções obtidas nas várias procuras. Ou seja, no máximo a rede passa por $3 \cdot 10^K$ gerações no total. O vetor t_c , saída da rede neuronal, é obtido com valores dentro do domínio da função sigmoide logística ($t_c \in [0, 1]$) que depois é transposto para valores entre 0 e 24 horas, a duração de um dia.

Para a implementação da proposta apresentada foi inicialmente construída uma aplicação em VB que visa simular o uso desta rede. Para um máximo de três consumos, esta permite a inserção dos parâmetros que os definem. Importa referir que esta aplicação tem abarcada por defeito, e para efeitos de experimentação da rede, um perfil de produção regido pela equação 5.8, com t em horas.

$$P_h(t) = \begin{cases} 1000 \sin\left(\frac{t}{7}\right) & \text{se } t < 22 \\ 0 & \text{se } t \geq 22 \end{cases} \quad (Watt) \quad (5.8)$$

Na Figura 5.13 é exposto um exemplo da aplicação em que o primeiro consumo tem um limite horário das 6h até as 16h, uma duração de 2h e uma potência de 700W. Os restantes estão identicamente definidos, apenas com parâmetros numericamente díspares. Após a conclusão do processo, a aplicação apresenta a melhor solução encontrada graficamente, Figura 5.13b, permitindo assim uma melhor perceção da distribuição dos consumos.

Após a conclusão da aplicação anterior procedeu-se à implementação desta rede neuronal proposta no software CEM. Esta etapa corresponde ao desenvolvimento do módulo denominado *Scheduler*, Figura 5.5. O modo como aceder a este módulo é similar aos anteriores, ou seja, premindo o botão *scheduler*. Na Figura 5.14 é apresentado o ecrã do módulo de planeamento de consumos e nesta nova janela são visíveis diversas áreas distintas. Primeiramente na secção *forecast weather* o utilizador deve especificar quais as condições meteorológicas que prevê para o dia seguinte, nomeadamente as temperaturas mínimas e máximas e a humidade. Depois deve pressionar a “seta negra” para o CEM efetuar a identificação de perfis de produção que estejam dentro das condições introduzidas. Após concluído esse processo, na *combo-box profiles* serão inseridos os perfis encontrados. O utilizador necessita de escolher um dos perfis pra proceder ao planeamento dos consumos. O número de consumos possíveis de juntar para agendar está limitado a um mínimo de um consumo, não tendo qualquer restrição no número máximo. Os campos respetivos a cada consumo são dinamicamente inseridos na área gráfica consoante a adição de consumos. À semelhança da aplicação anterior, Figura 5.13, o utilizador tem de parametrizar os consumos, nomeadamente os horários limite para consumir, a duração de cada um e o consumo efetivo. Após completos todos os campos, é dada a opção de poder escolher qual o critério de avaliação:

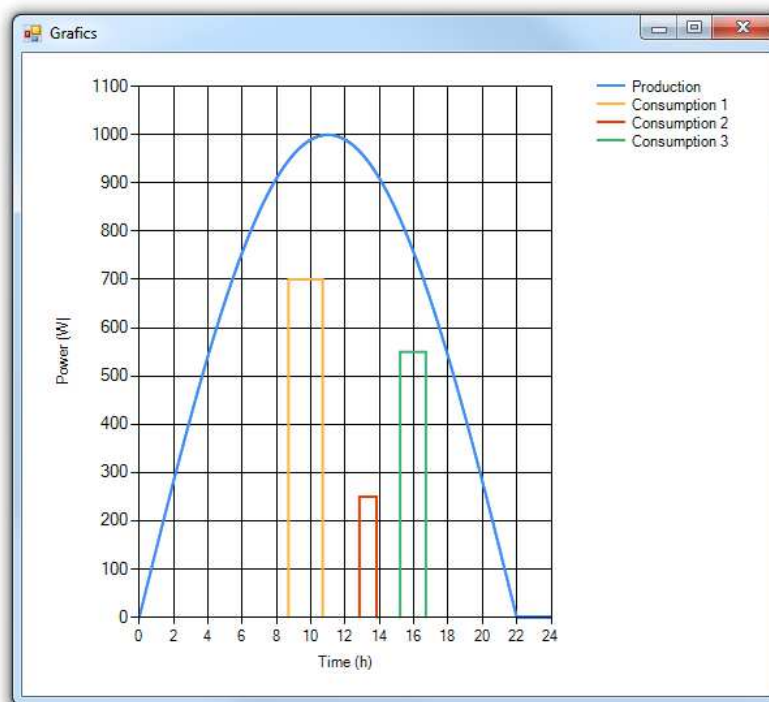
- *Avoid overlap* - Evitar a sobreposição dos consumos definidos ($FF_1^c = 1$);
- *Don't exceed the production* - Tentar não agendar os consumos para horários com produção inferior ($FF_2^c = 1$);
- *Given time interval* - Evitar que os consumo fiquem fora dos limites horários estipulados ($FF_3^c = 1$);

The 'Task Management' window displays three consumption profiles with the following settings:

Consumption	Time range: from	Time range: to	Consump. time	Consumption
Consumption 1	6	16	2 h	700 Watt
Consumption 2	4	16	1 h	250 Watt
Consumption 3	8	23	1.5 h	550 Watt

A 'Start Sim.' button is located at the bottom right. A 'Generation:' label is at the bottom left.

(a) Exemplo de caraterização dos consumos.



(b) Reorganização dos consumos.

Figura 5.13: Aplicação em VB para planeamento de consumos.

- *All criterions* - Garante o cumprimento do conjunto dos critérios anteriores ($FF_{ind}^c = 1$).

A diferença na utilização de um critério extra está no acrescento de mais uma condição ao critério de paragem, que é diferente consoante o critério escolhido. Para iniciar o planeamento basta premir o botão *scheduler* e o CEM procederá à determinação dos horários. A evolução deste planeamento é possível ser acompanhada pela área gráfica (*representation*) que é atualizada sempre que uma melhor solução é encontrada. Após a conclusão do planeamento os resultados são apresentados na lateral direita (*results*) e são mostrados os horários para cada consumo.

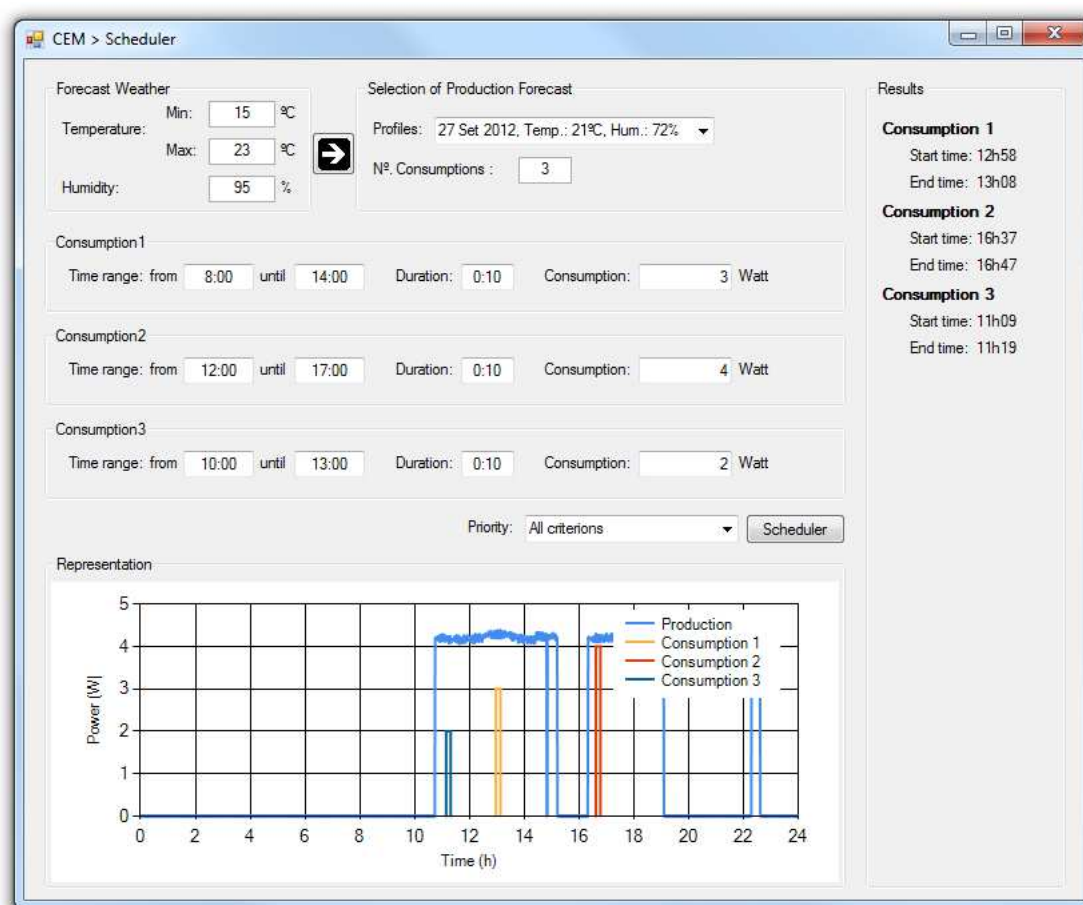


Figura 5.14: Ecrã do módulo de planeamento de consumos.

5.8 Negociação de pacotes de energia

A negociação de energia entre utilizadores do sistema é igualmente um objetivo abordado no presente trabalho. O CEM tem a possibilidade de efetuar ações como venda, compra, pedidos ou doações de energia. Qualquer produtor pode dar diferentes usos à sua produção, como seja vender à rede ou a outro utilizador, ou responder ao pedido de outro consumidor através de doação. A possibilidade de pedir energia assenta na eventualidade do consumo previsto pelo consumidor poder exceder as suas disponibilidades financeiras. Por exemplo organizações não-governamentais, lares, hospitais, bairros sociais, entre outros. Estas negociações energéticas, doações e vendas são efetuadas através da infraestrutura elétrica do distribuidor (rede pública), que tem de as autorizar previamente. Como já referido, o comercializador tem necessariamente que ser utilizador do software para supervisionar todas estas contratualizações/negociações. Toda esta atividade transacional e contratual de energia está sempre atualizada e disponível no CEM desenvolvido. No caso de existirem valores monetários associados, esses são tidos em conta na faturação que o comercializador já efetua aos seus clientes, pelos serviços energéticos que presta fora do âmbito dos contratos feitos no CEM. O distribuidor irá cobrar ao recetor e creditar ao emissor, podendo reter uma taxa pelo serviço de distribuição e

pelo uso das infraestruturas.

Assim o último módulo incluído no CEM foi o de negociação de pacotes de energia. O ecrã deste é dividido em dois separadores, apresentados nas Figura 5.15a e 5.15b. O primeiro é denominado *Purchase/Sell* e neste é possível colocar à venda pacotes de energia, discriminando apenas a quantidade de energia em kW e o preço pretendido em €/kWh. É possível visualizar em formato de lista todas as compras feitas, vendas disponíveis e os seus estados. Na lista *buying* irão constar apenas as compras feitas pelo utilizador, autorizadas ou por autorizar. Para o utilizador comprar um pacote de energia basta premir o botão direito do rato, ou botão secundário, sobre a venda pretendida, que fará aparecer um painel com a opção de compra, como se pode visualizar na Figura 5.15a. As vendas que dizem respeito ao próprio utilizador são destacadas com uma cor distinta. No segundo separador, *Request/Donate*, é possível visualizar os pedidos feitos de outros utilizadores que ainda não foram atendidos. Para fazer um pedido, o utilizador tem apenas de introduzir o valor de energia que pretende pedir e premir o botão *request*. Este novo pedido será automaticamente enviado para a base de dados onde ficará a aguardar uma resposta. Do mesmo modo que no separador anterior, para efetuar uma doação é preciso premir sobre o pedido pretendido com o botão secundário do rato. As doações feitas pelo o utilizador são apresentadas na lista *donating* e os pedidos na *requesting*. Qualquer negociação levada a cabo pelos utilizadores está sempre sujeita a autorização dos seus respetivos fornecedores.

Atualmente, em regime geral em Portugal, nos termos do Decreto-Lei n.º 118-A/2010 de 25 de Outubro e Decreto-Lei n.º 34/2011 de 8 de Março, não permite ao produtor vender a energia por um valor inferior à que compra; no limite, a tarifa de venda de eletricidade é igual ao custo da energia do tarifário aplicável pelo comercializador de último recurso do fornecimento à instalação de consumo. Assim, a venda deste bem entre consumidores não é atualmente vantajosa para um produtor e um consumidor que vendem e compram eletricidade pelo mesmo valor, devido aos seguintes cenários. O produtor quer sempre vender a sua energia a um preço mais elevado do que a importância que está a concretizar na venda à rede, no entanto nenhum consumidor quererá pagar mais pela eletricidade que gasta quando já está a usufruir de uma tarifa mais baixa. Assim sendo, o contrário também se verifica: o consumidor apenas irá preferir comprar a um produtor que não o comercializador, se este oferecer um preço mais baixo, mas assim o produtor fica a lucrar menos do que se estivesse a vender à rede. O cenário ótimo será quando o comercializador comprar ao produtor a eletricidade a um valor mais baixo do que a tarifa de venda. Isto traria benefícios para as entidades comercializadoras pois reduziam os gastos oriundos do encargo de compra de energia e ainda lucravam com a taxa cobrada pelo uso das infraestruturas.

CEM > Transfers

Purchase/Sell Request/Donate

New Sell

Power (kW): Price (€/kWh):

ID	Date	Power (kW)	Price (€/kWh)	Distributor Authorization
Buying				
7	28-09-2012 12:24:00	500	0.11	Pendent
Selling				
1	27-09-2012	405	0.125	-
13	28-09-2012	250	0.12	-

(a) Separador de compra e venda.

CEM > Transfers

Purchase/Sell Request/Donate

New Request

Power (kW):

ID	Power (kW)	Date	Distributor Authorization
Donating			
0	500	28-09-2012 21:10:00	Pendente
Requesting			
1	500	28-09-2012	-
2	450	28-09-2012	-
3	200	28-09-2012	-
4	287	28-09-2012	-

(b) Separador para pedidos e doações.

Figura 5.15: Ecrã para negociação de pacotes de energia.

Capítulo 6

Considerações finais

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões gerais sobre realização deste trabalho. São ainda expostas algumas sugestões para trabalhos futuros no âmbito deste tema.

6.1 Conclusões

O objetivo principal do trabalho apresentado consistiu no desenvolvimento de um software de apoio à decisão, dedicado aos consumidores e aos produtores de energia elétrica.

Os desenvolvimentos tecnológicos em *smart grids*, tanto elétricos como informáticos, têm evoluído no sentido de levar o consumidor final a um uso eficiente de energia, levar o distribuidor de energia à prestação de um serviço fiável e com perdas reduzidas, promovendo a microprodução. Há, no entanto, qualquer que seja o sistema (elétrico, computacional), a necessidade de controlo, que permita equilibrar o fornecimento de energia elétrica face a eventuais sobrecargas, permita detetar avarias, contabilize a sua produção e transmissão, entre outras atividades.

O *Clean Energy Meter* enquadra-se na necessidade de efetuar um controlo de toda a energia envolvida pelos consumidores, com o objetivo de os ajudar a tomar boas decisões. Importa relembrar e resumir algumas funcionalidades do *Clean Energy Meter*:

- O consumidor pode tomar mais consciência e controlo dos consumos que efetua, monitorizando as transferências de energia envolvidas;
- Um produtor/consumidor tem facilitada a gestão dos recursos elétricos pois tem disponível, em simultâneo, os respetivos valores de consumo e produção;
- Um utilizador do CEM pode ver determinado o contrato mais adequado aos seus consumos, podendo proceder à alteração se se verificarem vantagens económicas;
- Qualquer consumidor/produzidor do CEM pode efetuar um planeamento ajustado à produção prevista para o dia seguinte;
- Um produtor de energia pode obter uma maior rentabilidade económica com a venda da energia que produz;

- O distribuidor pode obter um maior equilíbrio das cargas na rede, aumentando a fiabilidade do fornecimento.

6.2 Futuros desenvolvimentos

Este trabalho debruçou-se sobre a vertente elétrica no âmbito das *smart grids*, desenvolvendo uma ferramenta de apoio à decisão com base nos perfis de consumo, utilizando redes neuronais e algoritmos genéticos. Mas alguns pontos e vertentes não foram explorados. Neste contexto são apresentadas e propostas algumas das possibilidades para trabalhos futuros, dando de algum modo continuidade ao software desenvolvimento:

- Integrar controlo automático de equipamentos domésticos e/ou industriais de modo a liguem e desliguem nos horários planeados;
- Incorporar outros serviços como gás e água, possibilitando uma monitorização conjunta de todos os serviços e os respetivos aconselhamentos das tarifas mais ajustadas;
- Estudar um modo como o CEM deve atuar em caso de falhas, nomeadamente perda de comunicação com os medidores de energia ou de acesso à internet;
- Desenvolver os módulos destinadas aos distribuidores e acesso via *web browser*.

Bibliografia

ADRIAN J. SHEPHERD – **Second-Order Methods for Neural Networks: Fast and Reliable Training Methods for Multi-Layer Perceptrons (Perspectives in Neural Computing)**. 1.^a edição. Springer, 1997. ISBN 3540761004.

ANTUNES, C. H. – **Concepção e avaliação de medidas de promoção da eficiência no consumo de energia elétrica**. Guimarães, 2012 Disponível em WWW:⟨URL:http://sipb.dps.uminho.pt/comunicacoes.htm⟩.

APREN – **Balço 2011 - Renováveis em Portugal**. 2012 [Consult. 15 Out. 2012] Disponível em WWW:⟨URL:http://www.apren.pt/gca/?id=311⟩.

ARRUDA, Felipe – **Conexões 4G, LTE e WiMAX mostram o futuro da comunicação móvel**. 2011 [Consult. 11 Set. 2012] Disponível em WWW:⟨URL:http://tecnologia.terra.com.br/noticias/0,,0I4958046-EI15606,00-Conexoes+G+LTE+e+WiMAX+mostram+o+futuro+da+comunicacao+movel.html⟩.

BIO INTELLIGENCE SERVICE – **European Commission DG INFSO Impacts of Information and Communication Technologies on Energy Efficiency**. Siene, France, 2008 Disponível em WWW:⟨URL:ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/sustainable-growth/ict4ee-final-report_en.pdf⟩, pp. 401 – 408.

CARLOS, Luiz; PERERA, Jacob; CARLOS, Antônio – Aplicação de redes neurais na análise e na concessão de crédito ao consumidor. **RAUSP - Revista de Administração**, Vol. 44, n.^o 1 (2009), pp. 34–45..

CASTRO, Gonçalo André Canha de – **Gestão, em ambiente Web, da microgeração de energia pessoal numa dimensão social escalável**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Universidade Nova de Lisboa, 2010, Disponível em WWW:⟨URL:http://hdl.handle.net/10362/5005⟩.

COELHO, Paulo – **Tecnologias xDSL para pares de cobres**. 2002 [Consult. 26 Ago. 2012] Disponível em WWW:⟨URL:http://www.estv.ipv.pt/paginaspessoais/pcoelho/disciplinas/rsbl/apontamentos/xdsl.pdf⟩.

COMMISSION, European – **EU-wide headline targets for economic growth**. 2010 [Consult. 24 Jul. 2012] Disponível em WWW:⟨URL:http://ec.europa.eu/europe2020/reaching-the-goals/targets/index_en.htm⟩.

- COMMISSION, European – **Smart Grids: from innovation to deployment**. Brussels, 2011 Disponível em WWW:(URL:<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52011DC0202:EN:HTML:NOT>).
- COMMISSION, European – **Energy Day Activities across Europe**. 2012 [Consult. 28 Maio 2012] Disponível em WWW:(URL:<http://www.eusew.eu/energy-days-europe>).
- DAMAS, Luís; FCA, Editora de Informática ed. – **SQL - Structured Query Language**. 6.^a edição. 2005, p. 448. ISBN 972-722-443-1.
- DGEG – **Balço Energético Sintético**. Direcção Geral de Energia e Geologia, 2011 – Relatório Técnico Disponível em WWW:(URL:<http://www.dgeg.pt/>).
- EDP – **edpON - Évora, InovCity**. 2010a [Consult. 4 de Março de 2012] Disponível em WWW:(URL:<http://www.edp.pt/pt/media/audiovideo/Pages/edpON.aspx?w=&fp=/pt/media/audiovideo/Videos/inovcity.flv&n=InovCity>).
- EDP – Évora InovCity. **On**, (2010b), pp. 24–33..
- EDP – **Évora InovCity - Smart Energy Living**. 2010c [Consult. 4 de Março de 2012] Disponível em WWW:(URL:<http://www.inovcity.pt/pt/Pages/homepage.aspx>).
- EES – **1st International Conference on Energy, Environment and Sustainability**. 2012 [Consult. 4 de Abril de 2012] Disponível em WWW:(URL:<http://www.isep.ipp.pt/eesconference/>).
- EGOZCUE, Elyoenai *et al.* – **Smart Grid Security - General Concepts and Dependencies with ICT**. ENISA, 2012 – Relatório Técnico Disponível em WWW:(URL:<https://www.enisa.europa.eu/activities/Resilience-and-CIIP/critical-infrastructure-and-services/smart-grids-and-smart-metering/ict-independencies-of-the-smart-grid/view>).
- ENERGY, European Commision – **Smart Grids Task force**. 2012 Disponível em WWW:(URL:http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/smartgrids/taskforce_en.htm).
- ENISA – **Smarter & safer distribution of energy through smart grids: Agency workshop**. 2012 [Consult. 23/07/2012] Disponível em WWW:(URL:<http://www.enisa.europa.eu/search?SearchableText=smarter+safer>).
- ERSE – **Extinção das Tarifas Reguladas**. 2012a [Consult. 21/08/2012] Disponível em WWW:(URL:<http://www.erse.pt/consumidor/Paginas/mudancaELEeGN.aspx>).
- ERSE – **Plano de promoção da eficiência no consumo de energia eléctrica para 2011-2012**. 2012b Disponível em WWW:(URL:<http://www.erse.pt/pt/planodepromocaodaeficiencianoconsumoppec/siteppec1112/Paginas/default.aspx>).
- FERNEDA, Edberto – Redes neurais e sua aplicação em sistemas de recuperação de informação. **Ciência da Informação**, Vol. 35, n.^o 1 (2006), pp. 25–30..

- FIORIN, Daniel V; MARTINS, Fernando R; SCHUCH, Nelson J – Aplicações de redes neurais e previsões de disponibilidade de recursos energéticos solares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Vol. 33, n.º 1309 (2011), pp.1–20. Disponível em WWW:⟨URL:http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172011000100009&script=sci_arttext⟩.
- FLICK, Tony; MOREHOUSE, Justin – **Securing the Smart Grid: Next Generation Power Grid Security**. Syngress, 2010. ISBN 9781597495707.
- FLUKSO – **Flukso**. 2012 [Consult. 16 de Agosto de 2012] Disponível em WWW:⟨URL:https://www.flukso.net/⟩.
- GARCIA, Ricardo – Consumo de electricidade caiu em 2011. **Público**, n.º 44867 (2012), p.14. Disponível em WWW:⟨URL:http://www.pt.cision.com/04kPTwebNewLayout_v4/ClientUser/GetClippingDetails.aspx?id=8b3892bb-cce9-4c03-9cd2-fcce68f3f688&an⟩.
- INE, I.P./DGEG; INE/DGEG, editores – **Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010**. 2011.^a edição. Lisboa-Portugal, 2010. ISBN 9789892501307.
- IT4ENERGY – **IT4ENERGY 2012**. 2012 [Consult. 4 de Julho de 2012] Disponível em WWW:⟨URL:http://it4energy.org/⟩.
- LANKTON, Calman – **Smart grid technologies and the development of a decision making framework for market entry**. Degrees of Master of Business Administration and Master of Science in Engineering Systems Massachusetts Institute of Technology, 2010, Disponível em WWW:⟨URL:http://hdl.handle.net/1721.1/59166⟩.
- LUSA/SOL – **Consumo de electricidade cai 4,2% até Setembro**. 2012 [Consult. 16/10/2012] Disponível em WWW:⟨URL:http://sol.sapo.pt/inicio/Sociedade/Interior.aspx?content_id=60752⟩.
- MARTINS, Carlos – **Évora acolhe Contadores Inteligentes da EDP**. 2010 [Consult. 21 de Agosto de 2012] Disponível em WWW:⟨URL:http://aminhaalegrecazinha.com/2010/04/evora-acolhe-contadores-inteligentes-da.html⟩.
- MATALLANAS, E. *et al.* – Neural network controller for Active Demand-Side Management with PV energy in the residential sector. **Applied Energy**, Vol. 91, n.º 1 Março (2012), pp.90–97. Disponível em WWW:⟨URL:http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261911005630⟩. ISSN 03062619.
- MODBUS ORGANIZATION – **MODBUS PROTOCOL**. 2012 [Consult. 10.06.12] Disponível em WWW:⟨URL:http://www.modbus.org/specs.php⟩.
- MOREIRA, Miguel Ângelo – **Introdução às Redes Neurais Artificiais**. 1997 Disponível em WWW:⟨URL:http://ltodi.est.ips.pt/mmoreira/PUBLICACOES_P/introducao_redes_neuronais_1997.pdf⟩.
- NACIONAL, Conselho; REGULADORA, Entidade; CONSTITUCIONAL, XVIII Governo – **Decreto-Lei n.º 118-A/2010. D.R. n.º 25, Série I-A de 25 de Outubro de 2010**. 2010.

- NAGESH, D Y Raghavendra; SOWJANYA, A; TULASIRAM, S S – Real Time Decision Support for Energy Management. En World Congress on Engineering 2008. Volume I, London, 2008. ISBN 9789889867195.
- ORECCHINI, Fabio; SANTIANGELI, Adriano – Beyond smart grids - The need of intelligent energy networks for a higher global efficiency through energy vectors integration. **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol. 36, n.º 13 Julho (2011), pp.8126–8133. Disponível em WWW:<URL:<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360319911002928>>. ISSN 03603199.
- PINAKI, Mazumder – **Genetic Algorithms: For Vlsi Design, Layout & Test Automation**. Pearson Education, 1999 Disponível em WWW:<URL:<http://books.google.pt/books?id=dLAyTPA92L4C>>. ISBN 9788177585742.
- PINTO, Ricardo – **Consumo português de energia eléctrica aumentou 50% em 10 anos**. 2008 [Consult. 15 Out. 2012] Disponível em WWW:<URL:[http://www.wikienergia.pt/\\$\sim\\$edp/index.php?title=Consumo_portugu%C3%AAs_de_energia_el%C3%A9ctrica_aumentou_50%25_em_10_anos](http://www.wikienergia.pt/\simedp/index.php?title=Consumo_portugu%C3%AAs_de_energia_el%C3%A9ctrica_aumentou_50%25_em_10_anos)>.
- PORDATA – **Energia**. 2012 [Consult. 14 Ago. 2012] Disponível em WWW:<URL:<http://www.pordata.pt/Subtema/Portugal/Energia-90>>.
- POZO, Aurora *et al.* – **Computação Evolutiva**. Departamento de Informática, Universidade Federal do Paraná, 2005 Disponível em WWW:<URL:<http://www.inf.ufpr.br/aurora/tutoriais/Ceapostila.pdf>>.
- PRASANNAN, Sooraj – **A macro-micro system architecture analysis framework applied to Smart Grid meter data management systems by Sooraj Prasannan**. Degree of Master of Science in Engineering and Management Massachusetts Institute of Technology, 2010, Disponível em WWW:<URL:<http://hdl.handle.net/1721.1/59009>>.
- PT – **Energy**. 2012a [Consult. 4 Mar. 2012] Disponível em WWW:<URL:<http://www.lojapt.pt/Pages/ProductDetail.aspx?PRID=3109>>.
- PT – **MEO Energy**. 2012b [Consult. 4 Mar. 2012] Disponível em WWW:<URL:<http://www.meo.pt/conhecer/maisMEO/Pages/MEOEnergy.aspx>>.
- RAPHAEL JR. PC WORLD – **Unplug for Dollars: Stop 'Vampire Power' Waste**. 2008 [Consult. 03 Ago. 2012] Disponível em WWW:<URL:www.pcworld.com/article/153245/unplug_for_dollars_stop_vampire_power_waste.html>.
- REAL TIME AUTOMATION, Inc. – **Modbus TCP/IP Overview**. 2009 [Consult. 10.06.12] Disponível em WWW:<URL:<http://www.rtaautomation.com/modbustcp/>>.
- ROSA, Luiz Henrique Leite – **Sistema de apoio à gestão de utilidades e energia: Aplicação de conceitos de sistemas de informação e de apoio à tomada de decisão**. Master's Dissertation Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2007, Disponível em WWW:<URL:<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-03082007-165825/>>.

- SACHS, Gregory – **A principle based system architecture framework applied for defining, modeling & designing next generation smart grid systems**. Degree of Master of Science in Engineering and Management Massachusetts Institute of Technology, 2010, Disponível em WWW:(URL:<http://hdl.handle.net/1721.1/62773>).
- SANTOS, M. Filipe; AZEVEDO, Carla – **Data mining : descoberta de conhecimento em bases de dados**. 1.^a edição. Lisboa: FCA, 2005, pp. 51–77. ISBN 972–722–509–8.
- SELINA – **Standby and Off-Mode Energy Losses In New Appliances Measured in Shops**. 2009 [Consult. 07 Out. 2012] Disponível em WWW:(URL:<http://www.selina-project.eu/>).
- SIC – **Águeda é modelo entre autarquias europeias que assinaram pacto para reduzir poluição**. 2012 [Consult. 11 Ago. 2012] Disponível em WWW:(URL:<http://sicnoticias.sapo.pt/1689917>).
- SOLAR, Baker Electric – **Sunpower Solar System Install Monitoring**. 2012 [Consult. 27 Ago. 2012] Disponível em WWW:(URL:<http://www.bakerelectricsolar.com/monitoring.htm>).
- SOUSA, Mário – **EDP e REN com OpenScape Xpert nas salas de despacho**. 2012 [Consult. 5 Ago. 2012] Disponível em WWW:(URL:<http://pplware.sapo.pt/informacao/edp-e-ren-com-openscape-xpert-nas-salas-de-despacho/>).
- SRM – **Unidades de microprodução ligada à rede - Distribuição por distrito e ano de ligação à rede**. 2012 [Consult. 16 Out. 2012] Disponível em WWW:(URL:<http://www.renovaveisnagora.pt/web/srm/estatisticas1>).
- SUNPOWER – **Solar Power Monitoring Systems for Your Home**. 2012 [Consult. 27 Ago. 2012] Disponível em WWW:(URL:<http://us.sunpowercorp.com/homes/products-services/monitoring/>).
- TELES, Fernando Henriques Almeida – **WiMax: Perspectiva de Mudança nas Tecnologias de Acesso**. Mestrado em Gestão de Sistema de Informação Universidade Técnica de Lisboa, 2007.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY – **Standby power**. 2010 [Consult. 03 Ago. 2012] Disponível em WWW:(URL:<http://standby.lbl.gov/>).
- WANG, Wenye; XU, Yi; KHANNA, Mohit – A survey on the communication architectures in smart grid. **Computer Networks**, Vol. 55, n.º 15 Outubro (2011), pp. 3604–3629. Disponível em WWW:(URL:<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S138912861100260X>). ISSN 13891286.

Apêndice A

Medidas do PPEC 2011-2012

Nas Tabelas A.1, A.2, A.3 e A.4 apresentam-se as medidas aprovadas no último PPEC separadas por tipologia e pelos diversos setores de mercado, apresentado os custos bem como os respetivos promotores.

Tabela A.1: **Medidas intangíveis** aprovadas (ERSE, 2012b).

Promotor	Medida	Custos PPEC 2011-2012 (€)
EDPSU	Sistema de Gestão de Consumos em Escolas Secundárias	233 000
Union Fenosa	Eficiência energética na utilização do ar comprimido na indústria automóvel	158 500
EDPSU	TWIST - Projecto de Educação e Sensibilização para a Eficiência Energética, dirigido aos alunos do Ensino Secundário - 10 ^o ao 12 ^o anos	459 110
IDMEC	Energia na RTP II	489 680
EDPC	Energy bus - Energia em movimento - Autocarro temático sobre energia e eficiência energética em Portugal	367 678
EDPD	A tua energia - Projecto Itinerante de Educação para a Eficiência Energética, dirigido aos alunos do 1 ^o Ciclo do Ensino Básico	395 867
Iberdrola	Acompanhamento Energético Ilhas	145 000
Iberdrola	Acompanhamento Energético Serviços	162 900
Iberdrola	Acompanhamento Energético Indústria	162 900
Cooproriz	Implementação de sistemas de gestão da procura de energia eléctrica em Roriz	209 100
EDPSU	Painel de Consumidores - Sistemas de Gestão de Consumos em Redes Inteligentes	200 000
EDPC	Gestão de consumos domésticos online	222 688
GALP	Projecto de educação para a eficiência no consumo de energia, dirigido aos alunos do 1 ^o e 2 ^o ciclos do ensino básico	293 577
Total		3 500 000

As medidas aprovadas no PPEC 2011-2012 do concurso destinado a promotores que não são empresas do setor elétrico estão patentes nas Tabelas A.5 e A.6, bem como, os custos e respetivos promotores.

Tabela A.2: **Medidas tangíveis** aprovadas no **segmento indústria e agricultura** (ERSE, 2012b).

Promotor	Medida	Custos PPEC 2011-2012 (€)	Benefícios Totais (€)	Consumo evitado (kWh) ^a	CO ₂ evitado (tonCO ₂)
ADENE	Aplicação de Variadores Electrónicos de Velocidade	531 300	10 312 845	179 559 594	66 437
Iberdrola	Sistemas de Controlo de Força Motriz	186 300	2 464 516	42 910 313	15 877
Iberdrola	Variadores Frequência	148 388	1 811 623	31 542 635	11 671
EDPC	Motores de alto rendimento	363 362	3 615 783	62 955 332	23 293
EDPD	VEVs em Sistemas de Ventilação	723 600	4 978 712	86 685 640	32 074
Iberdrola	Baterias Condensadores	53 246	372 356	148 275 000	-
EDPC	Variadores Electrónicos de Velocidade em Sistemas de Refrigeração	234 251	1 477 825	25 730 788	9 520
EDPC	Substituição de lâmpadas de descarga por lâmpadas tubular fluorescente T5	1 405 392	8 891 642	158 155 376	58 517
EDPD	VEVs em Sistemas de Bombagem	1 844 500	10 658 244	185 573 416	68 662
Iberdrola	Luminárias de Vapor de Alta Pressão por Luminárias Fluorescentes	120 000	714 723	12 712 758	4 704
IDMEC	PME Inteligente - Agricultura & Indústria	136 979	890 868	15 511 125	5 739
Iberdrola	Reguladores de fluxo luminoso	135 000	679 216	11 826 000	4 376
Iberdrola	Luminárias Fluorescentes T8 por Luminárias Fluorescentes T5	57 409	204 744	3 641 771	1 347
Total		5 939 727	47 073 097	816 804 747	302 218

^aNas medidas de correção de fator de potência, o consumo evitado corresponde à energia reativa, em kvarh.

Tabela A.3: **Medidas tangíveis** aprovadas no **segmento comércio e serviços** (ERSE, 2012b).

Promotor	Medida	Custos PPEC 2011-2012 (€)	Benefícios Totais (€)	Consumo evitado (kWh)	CO ₂ evitado (tonCO ₂)
ADENE	PHASE OUT HG - Eficiência Energética na Iluminação Pública de Aldeias Rurais e Históricas	142 500	5 245 058	61 969 386	22 929
EDPD	Instalação de relógios astronómicos na iluminação pública	168 000	5 959 843	68 333 265	25 283
EDPSU	LFCs standard em IPSS	480 000	8 578 692	90 793 560	33 594
ADENE	LED Monumental - Substituição de iluminação convencional por LEDs em monumentos e edifícios históricos	140 300	1 855 114	25 283 731	9 355
Iberdrola	por Halogéneo para Utilizações Permanentes	139 767	1 367 738	14 561 958	5 388
Home Energy	Optimização do Frio nos Grandes Distribuidores - Instalação de Sistemas de Condensação Evaporativa	989 406	16 002 433	224 303 250	82 992
EDPD	Semáforos LED	216 041	2 520 706	36 944 182	13 669
EDPD	Instalação de sistemas de regulação de fluxo na iluminação pública de ambiente urbano	1 488 475	13 586 489	190 439 400	70 463
EDPC	Freecooling	234 150	2 033 271	28 500 000	10 545
EDPD	Instalação de sistemas de regulação de fluxo na iluminação pública de acessos rodoviários	1 091 548	9 963 426	139 655 560	51 673
Total		5 090 187	67 112 769	880 784 290	325 890

Tabela A.4: **Medidas tangíveis** aprovadas no **segmento residencial** (ERSE, 2012b).

Promotor	Medida	Custos PPEC 2011-2012 (€)	Benefícios Totais (€)	Consumo evi- tado (kWh)	CO ₂ evitado (tonCO ₂)
EDPSU	Distribuição de 4 lâmpadas economiza- doras através de IPSS	983 906	10 129 835	117 516 440	43 481
EDPC	Kit casa eficiente (LED+Standby killer)	759 552	5 554 416	78 096 069	28 896
Endesa	Instalação de sensores de presença em elevadores	615 000	4 772 589	61 539 350	22 770
EDPC	Promoção de iluminação eficiente - LEDs	1 136 000	6 473 986	98 950 359	36 612
Iberdrola	LEDs Residencial	109 000	618 143	9 447 881	3 496
Home Energy	Knowatt	1 703 332	10 025 800	129 276 000	47 832
EDPC	Standby killer - telecomando	156 204	694 931	8 960 674	3 315
Total		5 462 994	38 269 700	503 786 773	186 401

Tabela A.5: Medidas intangíveis aprovadas destinadas a promotores que não sejam em-
presas do sector elétrico (ERSE, 2012b).

Promotor	Medida	Custos PPEC 2011-2012 (€)
Lisboa E-Nova	Contadores inteligentes para decisões eficientes	245 917
IN+	Desafio eficiência energética no ensino superior	183 632
DECO	Plataforma de Escolas Energeticamente Eficiente - PEEE	243 935
Lisboa E-Nova	Exposição interactiva em eficiência energética no Forte do Bom Sucesso	220 558
OEINERGE	IPSS OCS	112 500
AMES	Operação Swatt - Diagnósticos Energéticos no Sec- tor Residencial	249 921
ENA	EcoSAVE	147 876
ACE	Poupe, Que Nós Pagamos	91 990
Total		1 496 330

Tabela A.6: Medidas tangíveis aprovadas destinadas a promotores que não sejam empre-
sas do sector elétrico (ERSE, 2012b).

Promotor	Medida	Custos PPEC 2011-2012 (€)	Benefícios Totais (€)	Consumo evi- tado (kWh)	CO ₂ evitado (tonCO ₂)
AREA	EFILNAV Eficiência na iluminação no sector da construção naval	101 544	426 330	7 583 116	2 806
Lisboa E-Nova	Optimização da iluminação pública em Lisboa	302 380	817 083	11 700 051	4 329
ADPC TO3	Observar para poupar - Medição Online	333 000	556 989	7 182 000	2 657
AMES	VAGB	278 829	510 948	6 374 586	2 359
AMES	School 4 Save Energy	167 745	279 618	3 191 140	1 181
Lisboa E-Nova	Substituição das lâmpadas incandescentes por tecnologia LED em todos os se- máforos no eixo Marquês de Pombal - Campo Grande, Av. Gago Coutinho e P. Nações	323 222	438 844	6 431 827	2 380
Total		1 506 720	3 029 813	42 462 720	15 711